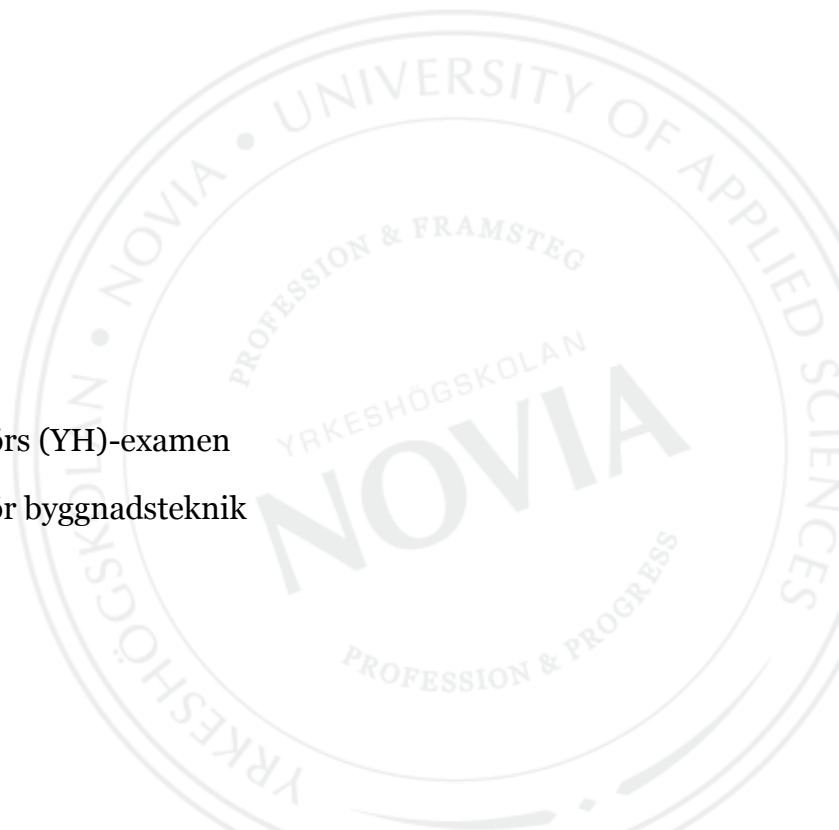


# **Borrade permanenta och täta sekantpålar**

Camilla Häggdahl

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen  
Utbildningsprogrammet för byggnadsteknik  
Vasa 2013



## EXAMENSARBETE

Författare: Camilla Häggdahl  
Utbildningsprogram och ort: Byggnadsteknik, Vasa  
Inriktningsalternativ: Produktionsteknik  
Handledare: Allan Andersson

Titel: *Borrade permanenta och täta sekantpålar*

---

Datum: 3.5.2013    Sidantal: 30    Bilagor: 7

---

### Abstrakt

Syftet med det här examensarbetet är att göra en enhetlig dokumentation över hur man utför sekantpålar med luftdriven sänkhammare åt Lemminkäinen Sverige AB. Examensarbetet är en arbetsplatsstudie från projekt Mörby kabeltunnel. Beställare är Svenska kraftnät AB, i Stockholm. I tunnelns norra ände byggs ett 20 meter djupt schakt. Som stödvägg för att hålla emot jord- och vattenmassor görs en permanent, tät, borrade sekantpålevägg.

Vid utförandet av sekantpålar använder man liknande metoder som vid grävpålar. Det som utmärks för sekantpålar är att man först gör varannan påle (primärpåle) på ett avstånd mindre än en påles diameter. När dessa härdat borrar en påle (sekundärpåle) mittemellan som då kommer att överlappa primärpålarna. Eftersom pålarna överlappar varandra kommer konstruktionen att bilda en tät vägg.

I examensarbetet presenteras också kort andra motsvarande metoder man kan använda. Bakgrundsinformation samt de andra metoderna är litteraturstudier. Utförandet av sekantpålarna är dokumenterat på arbetsplatsen. För att inte böjmoment ska uppstå görs denna sekantpålevägg i cirkulär form, därmed kan pålarna göras oarmerade. Det kommer inte heller att behövas hammarband, stämp eller bakåtförankring. En krönbalk kommer att gjutas av betong och sekantpålarna ska förankras i berget med lodräta linstag.

---

Språk: svenska    Nyckelord: sekantpålar, tunnel, stödvägg, betong

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä:	Camilla Häggdahl
Koulutusohjelma ja paikkakunta:	Rakennustekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto:	Rakennustuotanto
Ohjaajat:	Allan Andersson

Nimike: *Poratut pysyvät ja tiiviit sekanttipaaluseinät*

---

Päivämäärä: 3.5.2013      Sivumäärä: 30      Liitteet: 7

---

### Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kirjoittaa Lemminkäinen Sverige AB:lle menetelmä sekanttipaalujen tekemisestä uppovasaralla poraamalla. Opinnäytetyö perustuu työmaanopintoihin Mörbyn kaapelitunneliprojektissa. Tilaaja on Svenska kraftnät AB, Tukholmassa. Tunnelin pohjoispäähän rakennetaan 20 metriä syvä kaivanto. Maaperä- ja vesimassojen tukiseinäksi porataan pysyvä ja tiivis sekanttipaaluseinä.

Sekanttipaalujen toteuttamisessa käytetään samanlaisia porausmenetelmiä kuin kaivinpaaluilla. Sekanttipaalujen ominaisuus on se, että paalut leikkaavat toisiaan. Ensin porataan joka toinen paalu (primääripaalu) pienemmällä etäisyydellä kuin paalujen halkaisija ja sitten valetaan. Kovettumisen jälkeen porataan sekundääripaalut primääripaalujen väliin. Kun paalut leikkaavat toisiaan, seinästä tulee vesitiivis.

Opinnäytetyössä esitetään lyhyesti mitä vastaavia menetelmiä voidaan käyttää sekanttipaalujen sijaan. Olen perehtynyt kirjallisuuteen sekanttipaalujen taustatiedoista ja vastaavista menetelmistä ovat kirjallisuuden opintoja. Sekanttipaalujen menetelmät ovat tietoja työmaalta. Nämä sekanttipaalut on valmistettu ympyrän muotoon, jotta ne kestävät suuren taivutusmomentin. Sen takia on mahdollista tehdä paalut ilman raudoituksia ja vahvistuksia. Paalut ankkuroidaan kallioon vaijeriankkurien avulla.

---

Kieli: ruotsi      Avainsanat: sekanttipaalut, tunneli, tukiseinä, betoni

---

## BACHELOR'S THESIS

Author:	Camilla Häggdahl
Degree programme:	Construction Engineering, Vaasa
Specialization:	Building production
Supervisor:	Allan Andersson

Title: *Watertight and permanent wall using drilled secant piles*

---

Date: 3.5.2013    Number of pages: 30    Appendices: 7

---

### Abstract

The purpose of this project is to make a documentation for Lemminkäinen Sverige AB on how to perform secant piles by drilling with a pneumatic hammer system. This Bachelor's thesis is a workplace study of the project Mörby cable tunnel. Commissioned by Svenska kraftnät AB in Stockholm. In the north end of the tunnel a 20 meter deep shaft will be built. As a retaining wall to hold back soil and water masses there will be this permanent, sealed, drilled secant pile wall.

In performing secant piles similar methods as bored piles are used. Secant piles are made so that every second pile (primary pile) is drilled at a distance less than a pile diameter. When these piles have hardened the piles between (secondary piles) will be drilled. The secondary piles will then overlap the primary piles. Because the piles have an overlap structure they will form a watertight wall.

This Bachelor's thesis also presents other equivalent methods that can be used. The background information and the other methods are literature studies. The performance of secant piles is documented at the workplace. To avoid the occurrence of bending moments, this secant pile wall is done in a circular shape, which means that no reinforced piles are needed. No hammer strap, props or back support are needed either. A ridge beam will be cast from concrete and the piles will be anchored in the rock with vertical linstag.

---

Language: Swedish                      Key words: secant piles, tunnel, retaining wall, concrete

---

# Innehållsförteckning

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund .....	1
1.2	Beställare.....	1
1.3	Projektet Mörby kabeltunnel.....	1
2	Mål och begränsningar .....	2
2.1	Arbetets mål .....	2
2.2	Begränsningar.....	2
2.3	Tillvägagångssätt för arbetet .....	2
3	Metoder för att utföra djupa schakt .....	3
3.1	Allmänt.....	3
3.2	Stålspont .....	3
3.2.1	Borrad tät rörspond .....	4
3.3	Berlinerspond .....	5
3.4	Stödvägg med jetinjektering.....	6
3.5	Sekantpålar .....	7
3.5.1	Fördelar och nackdelar med sekantpålar.....	8
3.6	Tangentpålar.....	9
4	Andra liknande projekt .....	10
4.1	Citybanan, entreprenad Söderströmstunnel.....	10
4.2	Norra länken, entreprenad NL22.....	11
5	Projektering av sekantpålarna i Mörby.....	12
5.1	Val av metod .....	12
5.1.1	Geotekniskundersökning.....	13
5.2	Förberedande arbete .....	13
5.3	Krav och kvalitet .....	14
5.4	Omgivningspåverkan .....	14
6	Utförandet av sekantpålar.....	15
6.1	Utförandet och förväntad kapacitet .....	15
6.2	Borrmall .....	16

6.2.1	Distansplåtar .....	17
6.3	Borrordning .....	17
6.4	Maskiner och utrustning.....	18
6.4.1	Borrsträng .....	18
6.5	Sänkhammare .....	20
6.5.1	Foderrör.....	20
6.5.2	Borrskor .....	21
6.6	Laddningshål ”Load hole” .....	22
6.7	Borrning av foderrör.....	23
6.7.1	Krav för borrning av foderrör .....	24
6.8	Gjutning av sekantpålarna.....	24
6.9	Byte mellan rotation och vibron.....	25
6.10	Uppdragning av foderrör.....	25
6.11	Ridåinjektering samt förankring av konstruktion.....	26
6.12	Schaktningsförfarandet.....	26
6.13	Risker .....	27
7	Resultat och tolkning .....	28
8	Diskussion .....	30

# **1 Inledning**

## **1.1 Bakgrund**

Jag har gjort min företagsförlagda utbildning åt Lemminkäinen Sverige AB sedan maj 2012. Blev erbjuden ett examensarbete av dem på hösten vilket jag tackade ja till. Ämnet lät både intressant och lärorikt, samt för mig helt nytt.

## **1.2 Beställare**

Beställare till det här examensarbetet är Lemminkäinen Sverige AB (hädanefter LSAB). LSAB hör till Lemminkäinen Group koncernen från Finland som är verksam över hela världen med hemmamarknaden i länderna runt Östersjön. Grunden till företaget lades år 1910. Lemminkäinen Groups omsättning var år 2011 2.3 miljarder EUR, varav en fjärdedel är från internationella verksamheten. Koncernen omsätter 8 400 anställda varav 31 % jobbar utanför Finlands gränser.

I Sverige är det främst grundläggning, tunnel-och bergarbeten samt beläggning som utförs. LSAB har idag en omsättning på ca 1 miljard svenska kronor och har ca 200 anställda.

## **1.3 Projektet Mörby kabeltunnel**

Mörby tunneln är en ca 800 meter lång kraftledningstunnel i Danderyds kommun samt ca 100 m tillfartstunnel. Tunneln kommer att passera under E18, tunnelbanan, Mörby köpcentrum samt en befintlig ledningstunnel. I vardera tunneländen kommer ett vertikalschakt att utföras varav det ena schaktet kommer att utföras med sekantpålar. Projektet är planerat att vara klart i januari 2015. Beställaren av tunneln är Svenska Kraftnät AB. Tunneln i sin tur kommer att användas av Fortum och Vattenfall. Projektör är Ramböll och Lemminkäinen Sverige AB är entreprenör.

## **2 Mål och begränsningar**

### **2.1 Arbetets mål**

Målsättningen är att få en enhetlig teknisk dokumentation av utförandet av en permanent, tät sekantpålevägg. Eftersom marken innehåller stora block ska det utföras med luftdriven sänkhammare, vilket aldrig tidigare gjorts. När projektet är klart skall en teknisk artikel publiceras i någon av Sveriges branschtidningar.

### **2.2 Begränsningar**

I denna avhandling kommer jag inte att beröra den ekonomiska delen. Det kan dock nämnas att denna metod är dyrare eftersom den ännu är outvecklad i Sverige och ingen standardutrustning finns att tillgå. Däremot utomlands, t.ex. i Tyskland, där sekantpålemetoden är en av de vanligaste är den dock ekonomisk. Där har de inte problem med blockig hård moränjord. Med denna metod i Sverige har det ofta hänt att foderrören stannat i hård morän ovanför berg.

På grund av ändrings- och tilläggsarbeten har tidplanen blivit framskjuten, där av kommer inte framschakt av sekantpålar att ingå i detta ingenjörsarbete.

### **2.3 Tillvägagångssätt för arbetet**

Först kommer jag kortfattat att presentera en litteraturstudie om liknande metoder som för tillfället finns ute på marknaden. Därefter fokuserar jag på utförandet av sekantpålar vilken är en arbetsplatsstudie. I det här fallet är det val av utförandemetoder och utrustning som är det unika.



### 3 Metoder för att utföra djupa schakt

#### 3.1 Allmänt

Vid djupare schakt finns det olika metoder som kan användas. Vid arbetsplatser med begränsat utrymme är inte ett öppet schakt med slänt möjligt utföra, utan där måste man använda sig av en stödväggskonstruktion. Val av metod påverkas till största del av kostnad och i vilken omgivning konstruktionen ska utföras i. (Jääskeläinen 2009).

Gemensamt för dylika metoder är att de bildar en mer eller mindre tät vägg. Några av dem är endast lösningar på tillfälliga stödväggar under arbetsskedet. De vanligaste metoderna är stålspont och berlinspont. (Jääskeläinen 2009).

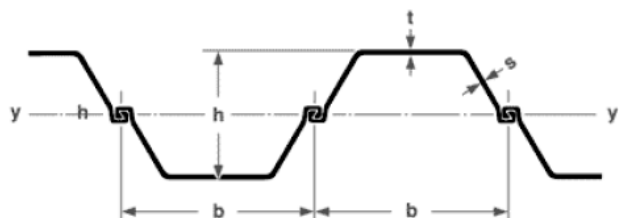
Dessa metoder har olika benämningar i olika länder. I detta arbete följs benämningar som är vanliga i Sverige, detta efter konsultation med projektets geotekniker.

#### 3.2 Stålspont

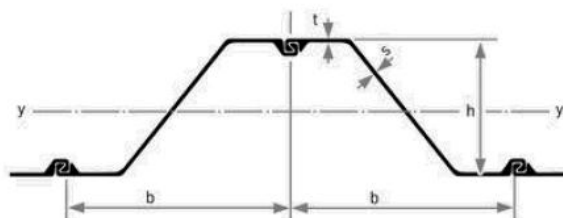
Slagen, tät spont konstrueras av spontplankor (se Figur 1 där två modeller visas) som slås ner i marken. Oftast gräver man först bort det översta jordlagren för att ta bort alla stora block och eventuella tidigare grunder. Detta för att få en bra början när man slår ner sponten. Beroende på belastning kan väggen behöva förstärkas med hammarband och berg- eller jordankare (Se exempel på förstärkning i Figur 2). Stålsponter är lämpligast i jord utan sten. (Jääskeläinen 2009).

Utförandet av en slagen spontvägg orsakar mycket vibrationer i marken. Vid mycket vibrationskänsliga områden kan man vara tvungen att använda andra metoder. Stålspontning är oftast en enkel och relativt ekonomisk lösning för en temporär stödvägg. (Jääskeläinen 2009).

Larssen Sheet Piles



Hoesch Sheet Piles



Figur 1. Två olika modeller på stålsponter från BE Group. Bilderna är tagna från BE Groups broschyr om grundläggning. T.v. U-modellen och t.h. Z-modellen.



*Figur 2. Stålspont förstärkt med hammarband och bergförankringar, 16 november, Bergeforsen.*

### **3.2.1 Borrad tät rörspont**

Rörsponten installeras genom borring och lämpar sig därför som stödväggar i svåra markförhållanden. Pålarna kan installeras i berg och förenas med spontlås. Den här konstruktionen fungerar bäst i konstruktioner som utsätts för både horisontella och vertikala laster. Se *Figur 3* som visar två olika modeller av Ruukkis RD-pålar. Även denna typ av vägg kan förstärkas med hammarband och berg- eller jordankare. (Ruukki 2012).

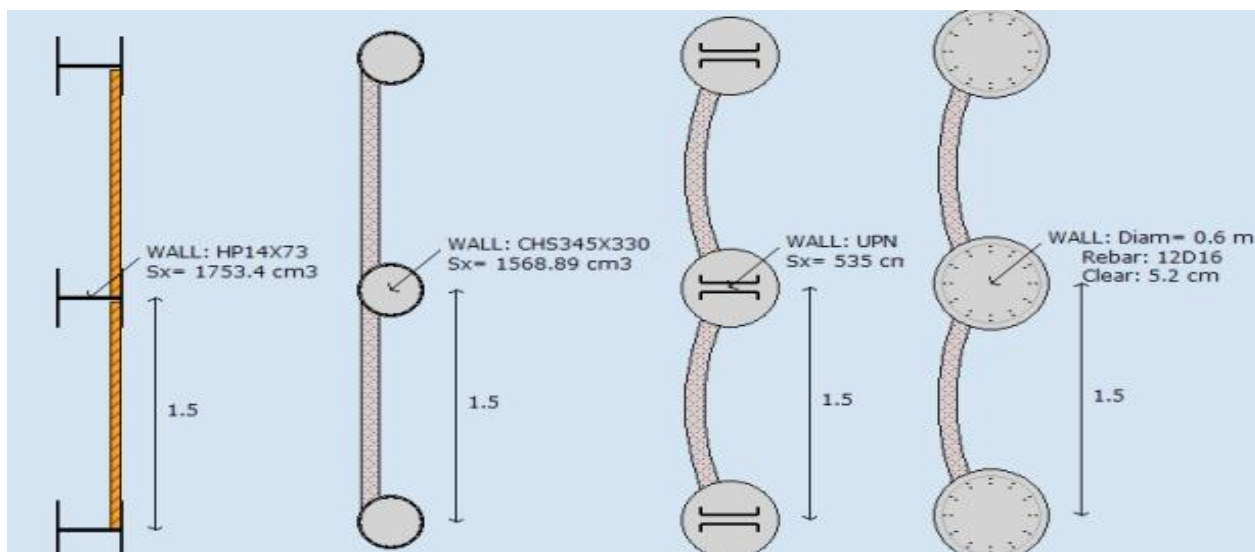


*Figur 3. Ruukkis RD-pålar. Bild från Ruukkis produktbroschyr samt installerad RD-vägg av Lemminkäinen.*

### 3.3 Berlinerspont

Sponten kan antingen utföras som slagen eller borrarad. Metoden går ut på att man med 1 till 2 m mellanrum slår eller borrar ner balkar, rör eller pålar. Efteråt gräver man sig neråt en liten bit och täcker igen utfackningen mellan dessa pelare. Utfackningen kan vara av trä, plåt och sprutbetong. Se Figur 4, Figur 5 och Figur 13 där olika metoder samt bilder på befintliga berlinersponton visas. (Intervju med geokonstruktör V. Arvidsson 2012–2013).

Vid djupa konstruktioner behöver väggen förstärkas med hammarband och berg- eller jordankare. Fördelen med denna vägg är att man kan variera avståndet mellan de lodräta stöden, om det till exempel finns block i marken. (Jäskeläinen 2009).



Figur 4. Exempel på några olika modeller av berlinerspont. Längst till vänster stålbalkar med träutfackning, följande t.h. borrarade rör med utfackning av sprutbetong och till höger två olika förstärkta betongpålar med utfackning av sprutbetong. Skissen tagen från [www.deepexcavation.com](http://www.deepexcavation.com).

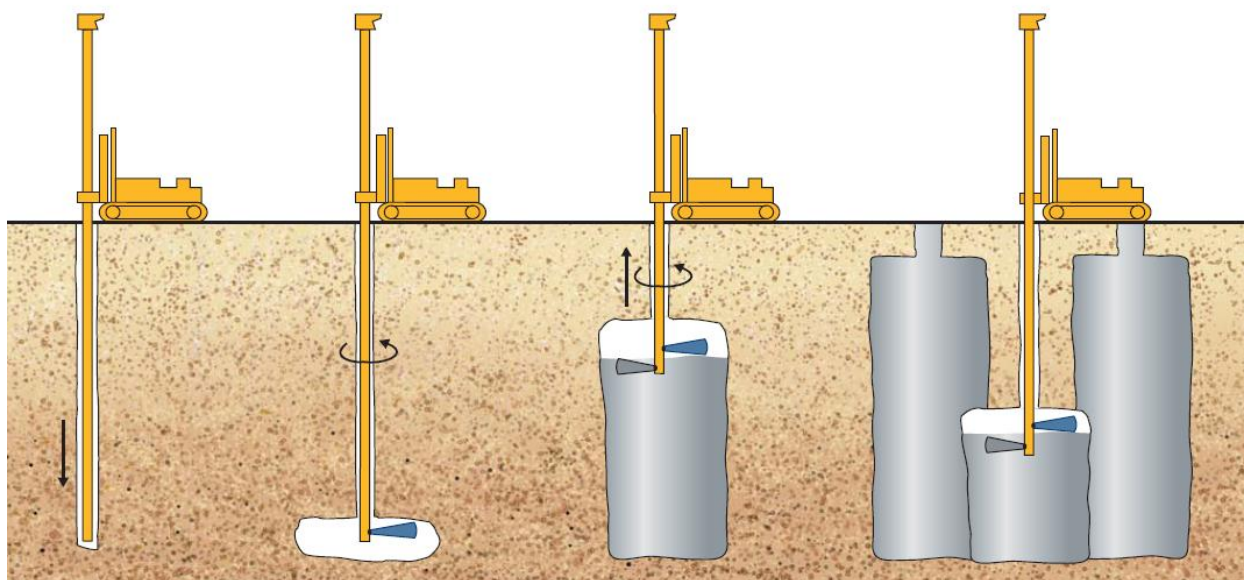


Figur 5. Borrarad berlinerspont med plåtautfackning, Norra station, Stockholm, utfört av Besab. Bilden är från deras hemsida.



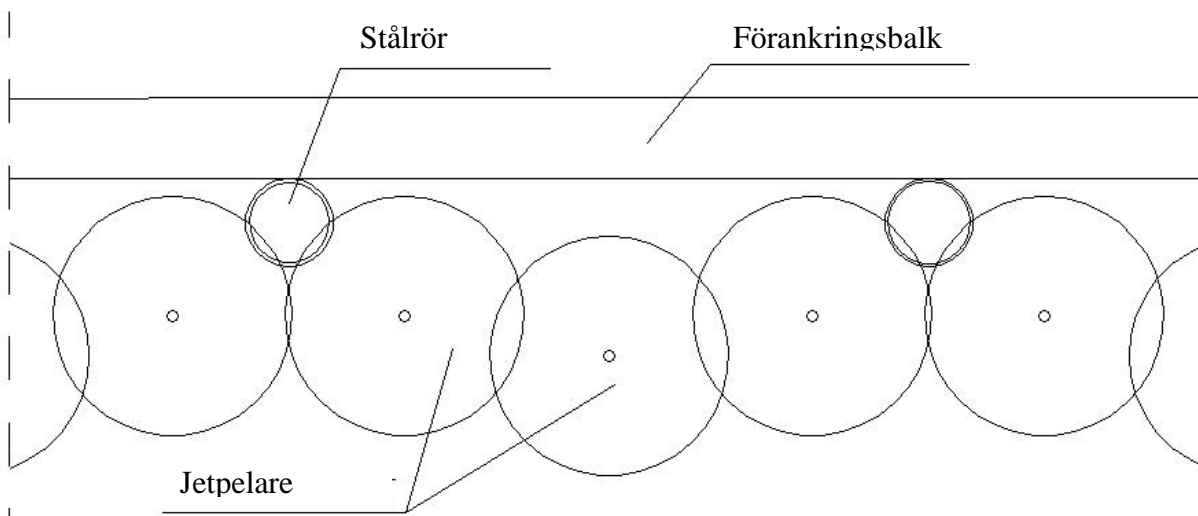
### 3.4 Stödvägg med jetinjektering

Vid jetinjektering borras en specialborrstång ner till önskat djup på pelaren. Därifrån börjar man samtidigt som man roterar och drar upp stången spruta ut en cementsuspension (se Figur 6). Injekteringstrycket är i klassen 30–60 MPa. Pelarnas diameter varierar beroende på jordarten och utförandet, diametern kan bli allt från 0,4–1,5 m. Utförande kan också göras med vatten. Då sprutas vatten med högt tryck ut högre upp än cementsuspensionen för att skölja bort massorna. Då uppnås större diameter på pelarna. I sand och grusjord har till och med diametern 2,5 m uppnåtts. (Jääskeläinen 2009).



Figur 6. Utförandet av jetpelare. (Hayward Baker 2004).

Genom att placera jetpelare intill varandra får man en stödvägg. Ett vanligt sätt att förstärka jetpelarna är med stålrör och balkar för att klara av uppkommande böjmoment. Ifall man med jetpelare vill uppnå en vattentät stödvägg görs de med överlappning och ett centrumavstånd runt 75 centimeter. I Figur 7 visas hur man med hjälp av stålpelare gjort en stödvägg av jetpelare. Stålpelarna tar det största jordtrycket som fördelas via jetpelarna. (Nykänen 2009).



Figur 7 Jetpålar i kombination med stålpelare. (Nykänen 2009).

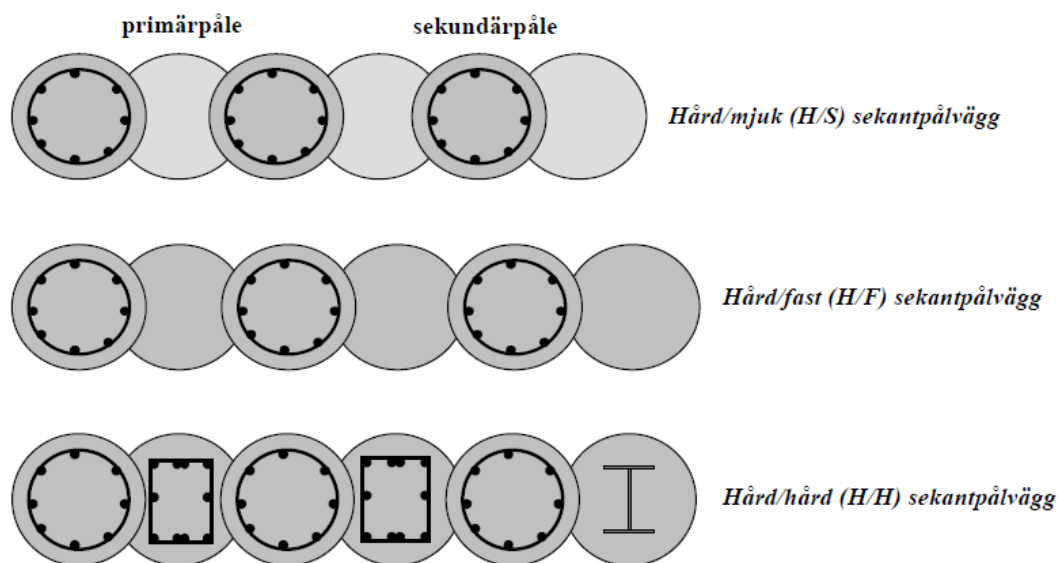
Jetpelare orsakar inga vibrationer i marken under utförandet. Det enda som begränsar pelarna är objekt som är i vägen för maskinerna ovan jord eller ledningar och grunder under jord. (Nordlund 2011).

### 3.5 Sekantpålar

Sekantpålar är platsgjutna betongpålar som används som permanenta eller temporära stödväggar. Metoden används främst i Västeuropa men har på senaste tiden börjat användas även i Sverige. Sekantpålarna kan utföras på olika sätt. Gemensamt för alla metoder är att pålarna utförs med en viss överlappning för att bli täta mot grundvatten och hindra jordmaterial att komma in i schakten, samt skapa en bärkraftig och tät stödkonstruktion. (Åhnberg 2004).

Med dagens teknik kan pålar utföras med diametrar från 0,3 meter till ca 2 meter. Sekantpålar utförs ofta armerade med armeringskorgar eller stålbalkar. Vid utförandet borrar först varannan påle med ett avstånd på mindre än en påles diameter, dessa kallas för primärpålar. Därefter borrar de mellanliggande pålarna vilka kallas sekundärpålar. Sekundärpålarna borrar ner medan betongen i primärpålarna ännu inte härdat fullt ut. (Secant Pile januari 2013).

Pålarna kan utföras med olika hårdhet så att till exempel varannan påle är mjuk eller fast och de övriga mellanliggande görs hård. (Se Figur 8 för skiss över sekantpålar) Sekantpålevägg skiljer sig på så sätt från andra förekommande metoder för utförande av gjutna stödkonstruktioner idag. (Åhnberg 2004).



Figur 8. Principfigur över olika typer av sekantpålar. (Åhnberg 2004).

Olika borrhingsmetoder kan användas vid utförandet. Foderrörsborrning för sekantpålar utförs med roterande eller oscillerande borrning (se Figur 9). Roterande borrning innebär att foderröret roteras ner. Vid oscillerande borrning används oscillator som roterar samt trycker ner foderröret i marken. Med oscillator kan båda rotationshållen användas. (Bauer 2013). Jordskruv även kallad CFA ("Continuous Flight Auger") är idag ett vanligt alternativ för tillverkning av sekantpålar. Jordskruv ser ut som en isborr och materialtransporten sker samtidigt på skruven. "Twin Rotary Drive Drilling system" som utnyttjar CFA-teknik med foderrörsborrning utförs så att jordskruv och foderrör roteras där ned samtidigt men med olika rotationsriktning. (Åhnberg 2004).

### 3.5.1 Fördelar och nackdelar med sekantpålar

Fördelar med sekantpålar:

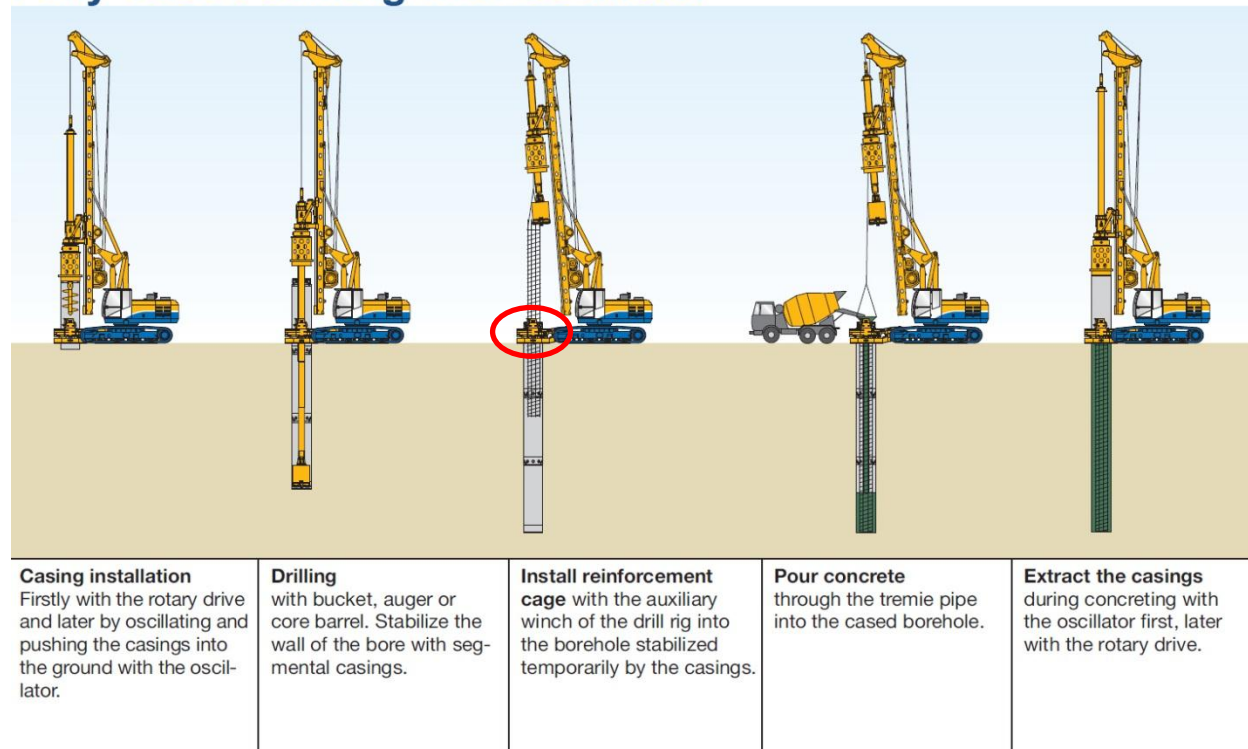
1. Ökad flexibilitet på konstruktionens placering samt väggstyvhet jämfört med stålsponter.
2. Kan utföras i svåra grunder (stenar/block).
3. Används i svåra grundvattenförhållanden utan att sänka grundvattennivån avsevärt.
4. Korrekt utförda pålar kan placeras så nära som 1–1,5 m från befintliga byggnader.
5. Mindre bullrigt utförande av konstruktionen.

Nackdelar med sekantpålar:

1. Vertikala toleranser kan vara svåra att uppnå för djupa pålar.
2. Total vattentätethet kan vara svårt att uppnå i skarvarna.
3. Ljud och vibrationer uppkommer om foderröret drivs ned och tas upp med hydraulhammare.

(Secant Pile januari 2013)

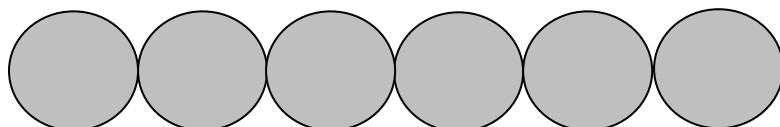
## Fully Cased Drilling with Oscillator



Figur 9. Utförandet av en påle med oscillator(utmärkt med röd ring). Roterande borrhning utförs likadant fast utan oscillator. (Bauer 2013).

### 3.6 Tangentpålar

Pålarna kan utföras skilt som markförstärkning men dessa kan även utföras i rad efter varandra och bildar då en enhetlig vägg (Se Figur 10). Denna metod kan användas när väggen endast konstrueras för att stöda jordmassor, inte mot grundvatten. Denna typ av vägg görs av betongpålar som endast tangerar varandra. Jämfört med sekantpålar är denna konstruktion mera flexibel samt lättare och snabbare utförd. Borrhningen av tangentpålar utförs med likadana metoder som sekantpålar. (Deep Excavation januari 2013).



Figur 10. Principskiss över tangentpålar.

## 4 Andra liknande projekt

### 4.1 Citybanan, entreprenad Söderströmstunnel

Citybanan är en sex kilometer lång pendeltågstunnel mellan Tomtebodan och Stockholms södra. Söderströmstunneln förbinder bergtunnlarna mellan Riddarholmen och Söder Mälarstrand. Det är en 300 meter lång sänktunnel i betong som grundläggs med stålkärnepålar förankrade i berget under Söderströms sjöbotten. Entreprenör är JVS, Joint Venture Söderström, ett konsortium mellan Züblin och Pihl. Arbetet med Söderströmstunneln pågår och beräknas vara klart 2013. (Trafikverket).

I Söderströmstunnelns ändor har man använt sekantpålevägg för att göra det möjligt att schakta sig nedåt utan att vattnet ska komma in (se Figur 11). Man har använt sig av pelare med storleken 1200–1500 mm. Den längsta pelaren är 32 meter. På några ställen beroende på plats och längd på pelare gjordes bergförankring. Man borrade alltid pålarna i grupper om tre primärpålar för att senare göra sekundärerna mitt emellan. Vid Riddarholmen fylldes delvis området i havet med eget material för att kunna göra sekantpåleväggen ute i havet. (Intervju med dipl. ing. N. Rabenschlag 7.12.2012).

Man hade för avsikt att borra 0,5 meter i berget men i praktiken blev det mera för att man ibland var osäker på om det var berg eller bara ett block man stött på. När pelarna var framschaktade tvättade man av dem med högtryckstvätt och större betongutfyllnader frästes bort. Även formbalken togs bort. Projektets svåraste del var logistiken eftersom inga tunga transporter tilläts genom Stockholm stad. I stället blev man tvungen att frakta dit det mesta på havet. Tyngsta maskinen vägde 100 ton. De använde sig av bl.a. maskinen BG40 från Bauer samt rotatorer till foderrören med kran eller borrhavn. Till den längsta pelaren användes BG40 samt oscillerande rotator. (Intervju med dipl. ing. N. Rabenschlag 7.12.2012).



*Figur 11. Delar av sekantpåleväggen och dess förankring i berget vid Södermälarstrand.*



## 4.2 Norra länken, entreprenad NL22

Inom NL22 har ca 12 000 m<sup>2</sup> sekantpålevägg utförts. Ingen av sekantpålarna är del av den permanenta konstruktionen. I Norra länken har även sekantpålar används vid NL12 som gränsar i väster mot NL22 och vid Norra länkens korsning med Roslagsvägen (NL31).

Enligt trafikverkets erfarenheter är sekantpålar en relativt dyr metod till stödkonstruktioner. Enligt deras regelverk kan sekantpålar under vissa förutsättningar ingå som en del i den permanenta konstruktionen. Metoden är tystare än vanlig stålspont, men kräver mera utrymme än stålspont, både vid utförande och för den färdiga konstruktionen.

Metoden fungerar utmärkt i åsmaterial (rullstensåsen) och de har inte haft något problem med inläckage av vatten i väggarna. Sekantpålarna har varit en tätare konstruktion jämfört med stålspont. Konstruktionen är styv vilket gör att antalet stag minskar. Detta är viktigt under grundvattenytan eftersom det är komplicerat att täta stag under grundvattenytan.

Utförandet kräver kunniga och noggranna maskinister. Trafikverket har använt två olika diametrar på pålarna, 1200 och 1500 mm. Ingen skillnad i borrhningstid kunde noteras beroende på diametern, men entreprenören föredrog dock att använda diametern 1500 mm. Vid berganslutningar har pålarna borrats ner ett par decimeter och anslutningen har jetinjekterats. Även ridåinjektering genom rör i sekantpålarna har utförts. Inga större problem med läckage vid berganslutning har noterats. Vid NL22 har merparten av sekantpålarna inte avslutats i berg utan bottentätningar har gjorts med undervattensgjutning av betong. (Intervju med biträdande projektledare Norra länken/Norra station S. Karlsson 20.3.2013).

## 5 Projektering av sekantpålarna i Mörby

I södra änden av Mörby kabeltunnel ska det utföras ett schakt på ca 20 meter där kablarna kommer att gå ner i tunneln. I bygghandling 2280:SE02 (se Bilaga 1) kan en skärning av konstruktionen ses. Hälften av schaktet är i jord och andra hälften berg. För att utföra jordschakten behövs en stödvägg. Konstruktionen ska vara permanent och ovanpå schaktet kommer senare ett servicehus för kablarna att byggas.

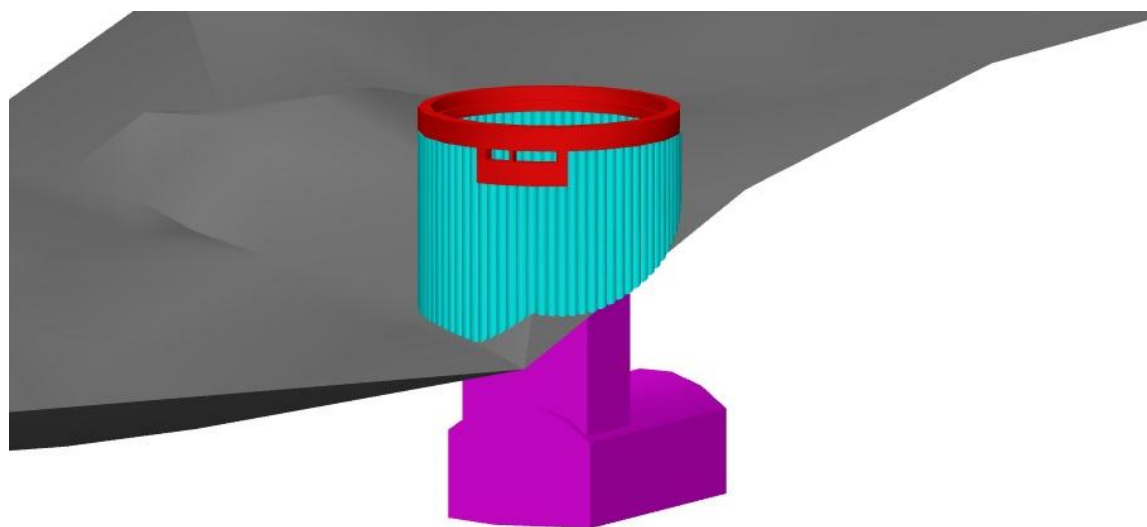
Huvudvattenledning som förser Stockholm med dricksvatten, dimension 600 mm (V 600) är att ta i beaktande. Den ligger bredvid schaktet och är i riskzonen. Ledningen kontrolleras med regelbundna mätningar med hjälp av peglar. (Stockholms Ström 2012).

I handlingen står det att entreprenören ska upprätta och leverera handlingar för dimensionering av sponter vid Karlsrovägen och att beställaren ska ges möjlighet att granska beräkningar och ritningar gällande dimensionering av spont i god tid, minst tre veckor före spontarbetets igångsättande. Bygghandlingarna är gjorda av Sweco Infrastructure AB på beställning av LSAB.

### 5.1 Val av metod

Från början var det tänkt att schaktet skulle utföras med en stålspons och innanför den bygga en permanent konstruktion åt kablarna. Men pga. stora block i moränlagret kunde inte en sådan genomföras. På förslag av LSAB har beställaren godkänt att den utförs som en cylinderformad sekantpålevägg istället (se Figur 12). Då väggen görs cylinderformad behövs inga balkar och förankringsstag görs på grund av den valveffekt som bildas. Dock kommer lodräta linstag att göras i var fjärde påle för att förankra konstruktionen i berget.

Vid tidigare projekt i Sverige har man haft problem med att sekantpålarna inte nått berget utan stannat i den hårda moränen. För att säkerställa att man är ner i berget skall sekantpålarna borraras med sänkhammare. Med sänkhammare behöver man inte byta redskap under borrhningen av foderrör om man stöter på block, jordstenar eller om materialet ändras till hårdare karaktär.



Figur 12. 3D-modell av planerade sekantpålar.

### 5.1.1 Geotekniskundersökning

Enligt handlingarna, som baserar sig på utförda sonderingar, utgörs jordlagren av fyllnadsjord som underlagrats av lera och friktionsjord ovanför bergytan. Fyllnadsjorden består av sand, sten och grus med inblandning av lera. Block kan inte uteslutas förekomma i tjockare fyllnadslager. Under fyllnadslagret är det lera varav den högst uppe är torrskorpelera och under varvig lera. De sista metrarna ovanför berget består av morän som är mot djupet väldigt fast lagrad. Utförda heijarsonderingar har delvis stannat i moränlagret ovanför berget. (Stockholms Ström 2012, s. BBB.13).

### 5.2 Förberedande arbete

För att kunna utföra jordschaktet åt kablarna utanför sekantpålarna görs en borrad berlinerspont med plåtutfackning (se Figur 13). Sponten förankras med bergförankringar. Kontinuerliga mätningar görs hela tiden för att försäkra sig om att den inte rör på sig utanför toleranserna.



*Figur 13 Borrad berlinerspont med plåtutfackning samt påbörjad bormall i Mörby.*

### **5.3 Krav och kvalitet**

I bygghandlingarna 2280: SE02, PL04 och EL04 (Se Bilaga 1, 2 och 3) står kraven för utförandet av sekantpålarna. Europastandarden EN 1536:2010 som fungerar som svensk standard (SS-EN 1536:2010) för utförande av geokonstruktioner- Grävpålar följs också.

### **5.4 Omgivningspåverkan**

Enligt handlingen finns vissa krav på ljud och vibrationer. För de närboendes skull följs de bestämda arbetstiderna då man får använda maskiner med högt ljud.

Grundvattnet runt sekantpålarna kommer antagligen att påverkas en aning under utförandet men borde stabiliseras efter att pålarna är klara och konstruktionen är vattentät.

Under borrningen kommer mycket jordmaterial att komma upp ur foderröret och för att lindra damningen används vatten.

## 6 Utförandet av sekantpålar

### 6.1 Utförandet och förväntad kapacitet

Målet är att varje dag borra fem nya pålar samt gjuta fem stycken. Sex uppsättningar foderrör finns tillgängliga för att alltid ha ett extra foderrör i marken som distans mellan borring och gjutning. Efter gjutningen vibreras rören upp och placeras liggande på marken. Under utförandet finns en grävmaskin tillgänglig för att gräva bort bormaterial samt lyfta foderrör.

Enligt mötet 22.11.2012 tillsammans med arbetschef Kimmo Perkiö, Lemminkäinen Infra OY, Andreas Backhammar och Thomas Paulsson är arbetsordningen enligt följande numrerade lista:

Dessa arbetsmoment beskrivs utförligare i kapitlen som följer:

1. Bormallen formas, armeras och gjuts.
2. Borra laddningshålet (för Ø610 mm foderrör) med Ø711 mm.
3. Borra foderrör Ø610, 6 st.
  - a. Använd laddningshålet för att installera borrstänger inuti foderröret (lyft foderrör Ø610 inuti Ø711 med hjälp av grävmaskin och vinsch, kör därefter borrhvagnen till laddningshålet och lyft upp foderröret).
  - b. Lämna borrsträngen (som består av adaptrar, borrhör, hammare och pilot) inuti det sista borrarade foderröret eller i laddningshålet.
  - c. Använd Robit DTH-RoX borrhör (kraftig modell för standardpiloter).
4. Ändra rotation på maskin till vibron.
5. Installera eventuell armering och rör.
6. Gjutning av borrarade Ø610 hål.
7. Vibrera upp fem foderrör.
  - a. Tvätta av foderrören.
8. Ändra vibron till rotation och börja om från punkt 3, men borra då fem.

## 6.2 Borrmall

Borrmallen (Se Figur 14) görs för att styra foderrören och borrar skon i rätt läge. Se bilaga 6 för detalj och skärning av borrmallen samt bilaga 7 som är en detaljbild för frigolitbitarna. Borrmallen rivs sedan pålarna är klara. Fördelen med frigolitmallarna är att de kan beställas i vilken form som helst. Mallarna är utplacerade, ihopspikade samt förankrade med armeringsjärn före gjutning (Se Figur 15). Dessa tas sedan bort innan borrarningen startar för att förhindra nedskräpning. För att få upp frigolitbitarna har en enkel modell av borrar gjorts (se Figur 16). Borrmallen skyddas under utförandet med körplåtar.



*Figur 14. Borrmallen färdig gjuten och pålarna numrerade.*



*Figur 15. Pågående gjutning av borrmall.*



### 6.2.1 Distansplåtar

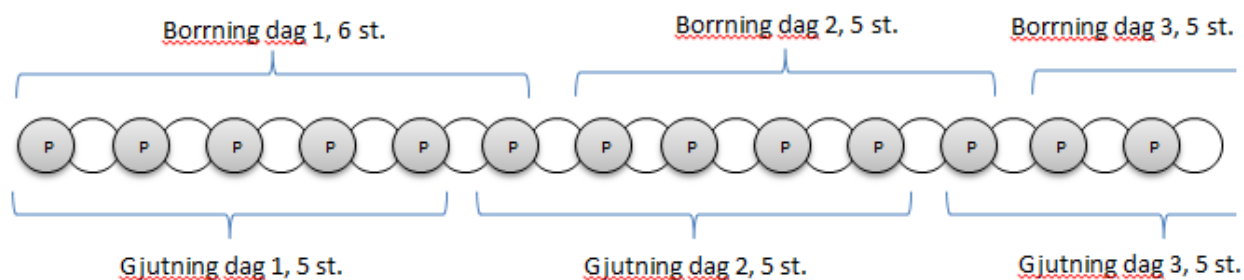
Eftersom hålet i bormallen är 30 mm större än borrar skon används distansplåtar av 10 mm plåt innanför som förstärkning och stöd till bormallen. Dessa har gjorts av valsade plåtar som bockats i rätt radie (se Figur 16).



Figur 16. T.v. "borr" att ta upp frigoliten med. T.h. distansplåtar som används inuti bormallen som förstärkning och stöd.

### 6.3 Borrordning

Den djupaste delen borrar först och senare det grundare. Pålarna borrar i tur och ordning. I första omgången borrar sex rör ner. Eftersom det kommer att borrar fem åt gången och gjutas fem finns alltid ett rör extra i marken. Detta rör är det sista i ordningen som blir borrarat men gjutet först i följande omgång. Se principskiss i Figur 17 över utförandet. Extra röret ger då en distans mellan gjutna pålar och borrning av följande omgång. Distansen behövs för att inte vibrationen eller luft från sänkhammaren ska påverka de gjutna pålarna.



Figur 17. Principskiss över utförandet.

## **6.4 Maskiner och utrustning**

Vid möte den 22.11.2012 tillsammans med arbetschef Kimmo Perkiö, Lemminkäinen Infra OY, Andreas Backhammar och Thomas Paulsson bestämdes det vilken sorts utrustning som skulle användas. Valet föll på en RTG RG 21 T (Se bilaga 4) som är en kombinerad borr- och spontvagn med vibro. Eftersom arbetsområdet är litet skulle inte två maskiner rymmas på plats, därav en kombinerad maskin. Borrningen utförs med luft och därför behövs det 2–3 kompressorer.

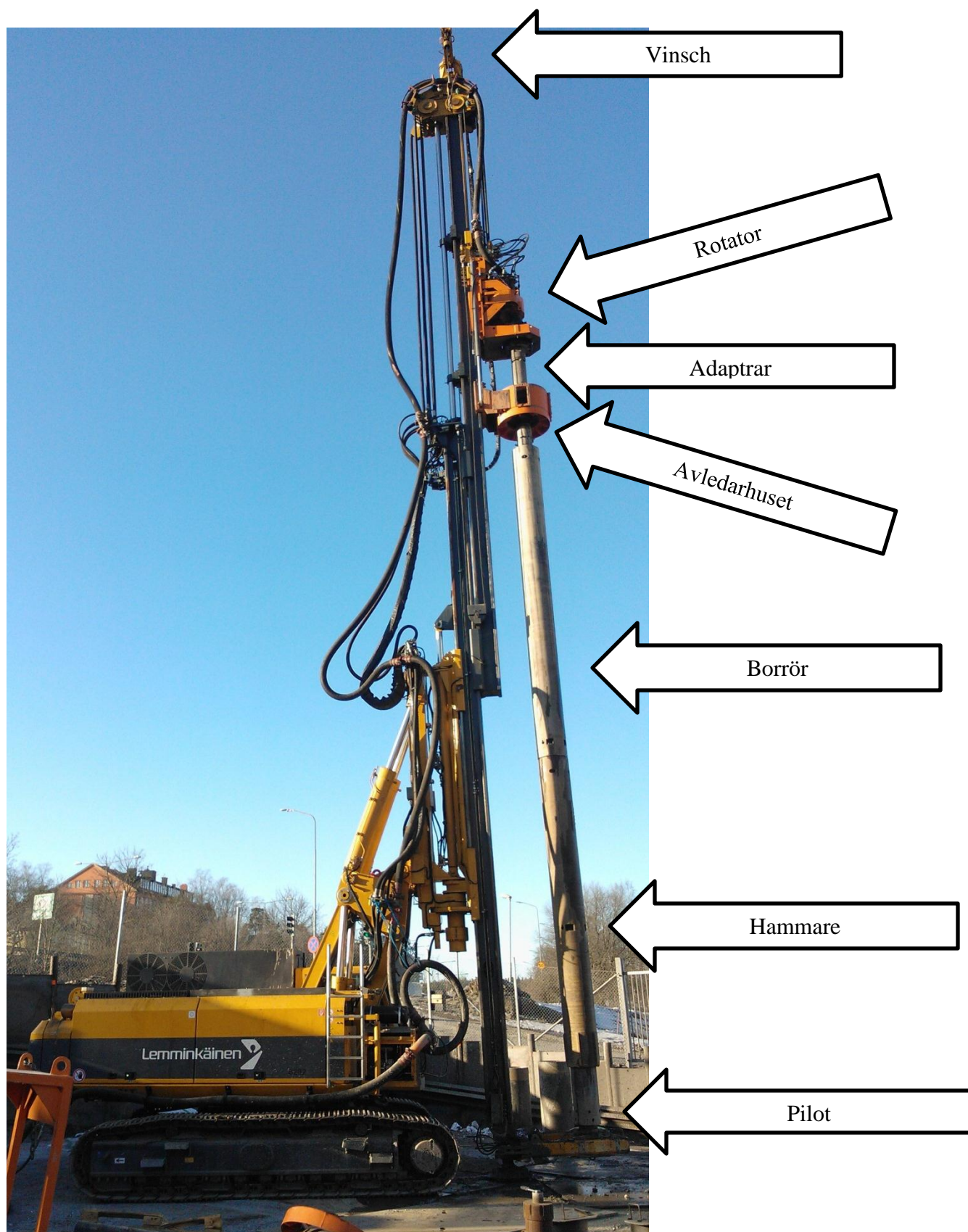
Eftersom jordmaterialet blåses ur röret med hjälp av tryckluft vid borrning används ett avledningshus på maskinen. Detta för att få en bra arbetsmiljö och inte damma ner omgivningen. Eftersom allt jordmaterial kommer ut från avledarhuset kommer den tillgängliga grävmaskinen att ta bort de massorna under borrningen.

### **6.4.1 Borrsträng**

Borrsträngen (som kan ses i Figur 18) är det som monteras fast i rotationen och består av adaptrar, borrhör, hammare och pilot. Noggrannare beskrivning av borrsträngen finns i bilaga 5. Högst uppe sitter adaptrarna för att få de rätta borrhören att passa. Under adaptrarna sitter borrhöret/rören. Inuti det sista borrhöret finns hammaren, som fungerar med hjälp av tryckluft som kommer ner genom borrhören. Längst ner under hammaren sitter piloten.

Beroende på längden på foderröret behövs olika längder på borrsträngen. Eftersom de djupaste pålarna görs först ska foderrören kapas och borrsträngen förkortas i och med att man tar bort borrhör vid de grundare ställena.





Figur 18. RTG RG 21 T samt monterade borrsträng.

## 6.5 Sänkhammare

Sänkhammare betyder att hammaren sitter längst nere på borrarsträngen närmast borrarpiloten. Motsatsen är topphammare som betyder det att hammaren sitter högst upp under rotationen. Med sänkhammare får man kraften så nära borrarsträngen som möjligt. Hammaren fungerar med hjälp av tryckluft och används ofta vid borrarsträngen men har inte tidigare använts vid sekantpålarna. Vid borrarsträngen används en 24 tums hammare och vid sekantpålarna en 20 tums hammare.

### 6.5.1 Foderrör

Vi kommer att använda sex uppsättningar  $\varnothing 610$  mm x 12,5 mm x 12 m rör (s.k. foderrör, Se Figur 19) samt en uppsättning  $\varnothing 710$  mm x 12,5 mm x 12 m rör som laddhål för foderrör, borrarsträngen och hammare. Foderrören är stålelement med borrarsträngen EN 10219, olegerad konstruktionsstål, S355J2H.

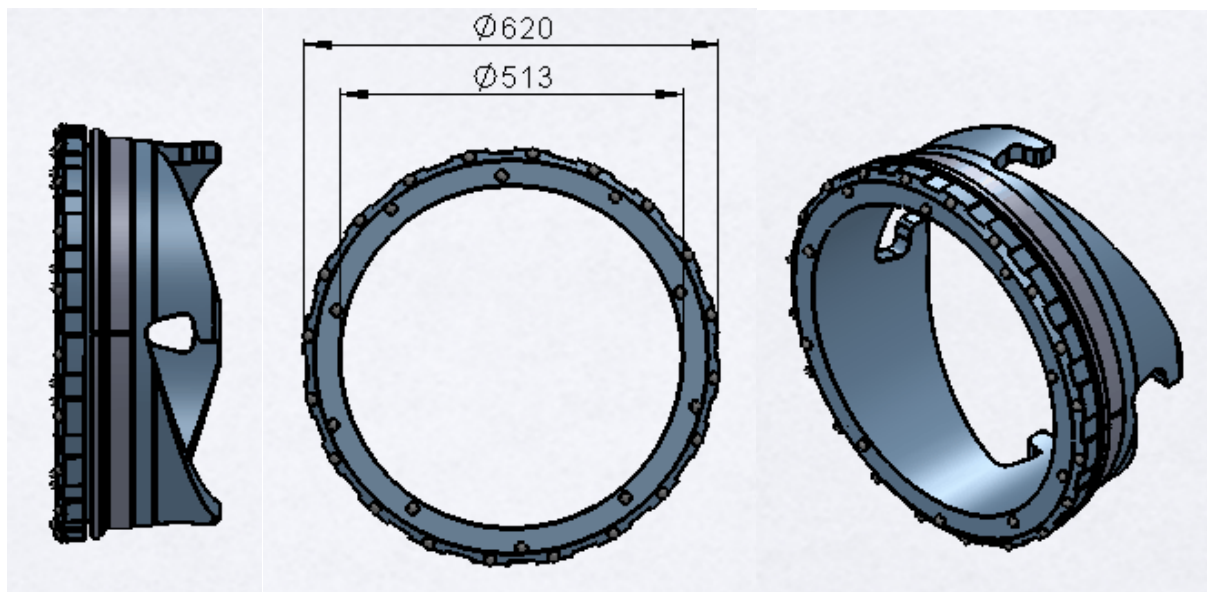


*Figur 19. T.v. foderrör på marken samt laddningsrör på ställning gjord för svetsning och kapning av rör. T.h. piloten till laddningsröret.*



### 6.5.2 Borrskar

Borrskorna är specialbeställda och skiljer sig från den vanliga 610 standardmodellen i följande punkter: bättre material, utfrästa spår i ytterkanten, 6 st. extra stift tillsatta och borrskons yta är induktionshärdat och glider mot foderröret. Normalt används en borrsko en gång, men dessa ska klara av ca 15 st. borrar. Borrskorna sitter fastsvetsade på foderrören vid leverans. Under borrarboringen hakar piloten tag i vingarna som kan ses från 3D-bilden i Figur 20 och kronan roterar.



Figur 20. 3D-bild av borrskon från leverantören Robit.



Figur 21. Borrskon t.v. är för foderrören. Den t.h. är för laddningshålet.

## 6.6 Laddningshål ”Load hole”

Utanför sekantpåleväggen kommer ett 12 meters rör med större dimension ( $\varnothing 710$  mm) att borrar ned, s.k. laddningshål. Detta hål är till för att underlätta vid byte till nytt foderrör. Laddning av nya foderrör i laddningshålet behövs när man använder foderrör med längden 12 m, eftersom masten inte kan höjas tillräckligt. På det här projektet klarar man sig med ett laddningshål eftersom det är inom maskinens räckhåll under hela tiden.

Laddning av det nya foderröret görs med hjälp av grävmaskin. Grävmaskinen lyfter foderröret nära laddningsröret med borrar skon bort från laddningshålet. Vinschen på bormaskin sänks ner till marknivån och kopplas fast i foderröret. Därefter dras vinschen upp och man får foderröret stående. Foderröret placeras ovanför laddningshålet och sänks. Därefter sänker man ner borrarsträngen inuti foderröret, som är i laddningshålet och roterar runt piloten som då greppar tag i borrar skon. Då kan man dra upp foderröret och borrarsträngen och börja borra. Samma procedur upprepas tills man borrarat ner alla foderrör. Efter borrarningen byts rotatorn ut mot vibron och under tiden lämnas borrarsträngen samt rotatorn stående i laddhålet (Se Figur 22). För att säkerställa att den mindre borrar skon inte greppar tag i laddhålets borrar sko fylls botten på laddhålet med grus.



Figur 22 T.v. i bilden färdig borrade rör klara för gjutning. T.h. rotatorn samt borrarsträng placerade i laddhålet.



## 6.7 Borrning av foderrör

Först borrar primärpålarna P01-14 samt P37-39 vilka ligger i den djupaste delen. Efteråt borrar de mellanliggande sekundärpålarna. (Elevationen kan ses i bygghandling 2280:EL04, bilaga 3). Därefter kapas foderrören till 9 meters längder för fortsättning av borrning där bergnivån är högre.

Vid borrning används rotationen och hammaren enligt vilket motstånd det är i marken man borrar i. Vid borrning i lera behövs inte hammaren lika mycket som i berg. Borrskon roteras under borrningen medsols. Under borrningen är det viktigt att med jämna mellanrum kontrollera lutningen på foderrören. Detta utförs med vattenpass från två sidor. För att få foderrören rätt placerade används distansplåtarna. Eftersträvan av en så försiktig borrning som möjligt görs och därför används så lite tryck som möjligt. Detta även för att inte ha så högt slitage på borrkronorna.

Vid borrningen tas luft från två kompressorer. Med hjälp av en fördelare (se Figur 23) får man två eller tre luftslangar till en, för att få ett jämnare lufttryck till maskinen. Vid borrning av laddhålet används tre kompressorer. Under borrningen används luften för att få hammaren att slå och samtidigt blåses allt bormaterial upp genom borrarsträngen och ut genom avledarhuset.



*Figur 23. Fördelare av tryckluft.*

Under borrningen används vatten för att minska damningen. Bormaterialet som kommer upp under borrning i lera/morän är i sig själv ganska blött och tungt. Däremot vid borrning i berg är det endast fint stenmjöl som blåses ut.

### 6.7.1 Krav för borrning av foderrör

Kraven är att foderröret borrar 0,8 m ner i friskt berg. Detta för att förankra pålarna i berget samt få bättre vidhäftning mellan påle och berg. Ett foderrör i varje borretapp ska kontrolleras med avseende på lutningen. Foderrörens lutningsavvikelse från vertikallinjen får inte överstiga 0,5 %. Protokoll på primärpålarna ska godkännas av konstruktör innan mellanliggande sekundärpålarna får utföras.

### 6.8 Gjutning av sekantpålarna

Enligt bygghandlingen 2280:PL04 (Se Bilaga 2) sänks foderrör för linstag ner i utmärkta sekundärpål innan gjutning. Betongen som används vid gjutningen är C28/35,  $v_{ct}=0,6$  med exponeringsklass XC2. Innan sekundärpålarna kan borrar ska tryckhållfastheten på primärpålarna uppnått minst 8 MPa. Eftersom det är risk för frysning pga. årstiden används varm betong och före gjutningen värms rören med värmefläktar för att ha jämnare temperatur. Se Figur 24.

Till hjälp vid gjutningen har ett 2 tums, 12 meter långt järnrör med en 90 graders vinkel i ena änden (se Figur 24) tillverkats. Gjutarröret sänks ner till botten med hjälp av vinschen och betongslangen kopplas till gjutarröret och betong pumpas ner. För att förhindra att eventuellt grundvatten blir kvar inne i betongen ska änden på röret alltid hållas under betongytan vid gjutning. Gjutarröret höjs med jämna mellanrum 20–50 cm i taget.



Figur 24. T.v. uppvärmning av foderrör inför gjutning. T.h. Pågående gjutning.



## 6.9 Byte mellan rotation och vibron

Vid byte till vibro byts rotatorn som kan ses i Figur 18 (utmärkt med pil) ut mot vibron (som kan ses i Figur 25). Under tiden förvaras rotation i laddhålet, vilket kan ses i Figur 22. När rotationen används förvaras vibron i ställningen som även den kan ses i Figur 25.



Figur 25. T.v. vibron i ställningen. T.h. vibron monterad på maskinen under pågående uppdragning.

## 6.10 Uppdragning av foderrör

Vid uppdragning av foderrören används vibron. Under vibron sitter rörklämman som kan justeras till olika rördiametrar. Foderrören dras upp efter att eventuella foderrör för linstag är monterade samt foderröret fyllt med betong. Vid gjutning av pålarna överfylls foderrören med betong eftersom nivån sjunker när hålet fylls ut och betongen vibreras vid uppdragningen. Vibron ska vara monterad och testad innan varje gjutning påbörjas.

Om maskinen och vibron av någon anledning inte fungerar eller går sönder under uppdragningen måste man snabbt få t.ex. en mobilkran med hängvibro till platsen. Alternativt kan man blåsa/suga betongen ur rören. Detta bör göras innan betongen härdar.

I samband med uppdragningen ska foderrören samt distansplåtarna spolas rent från betong och jord. Detta underlättar vid montering och borring av nya sekantpålar. Speciellt borrar skon bör vara fri från betong annars är det möjligt att inte piloten hakar i borrar skon.

### 6.11 Ridåinjektering samt förankring av konstruktion

För att förhindra vatteninläckage i bergschaktet under sekantpålarna kommer en ridåinjektering att göras i berget genom foderrören för linstagen. Därefter kommer sekantpålarna att förankras med linstag i olika dimensioner i berget. De olika dimensionerna samt placering för linstagen kan ses i bygghandling 2280:PL04. Förankringslängderna i finns i tabellen i bygghandling 2280:EL04.

Efter installation och provdragning görs ett schakt ner till +12 m invändigt. Därefter skall linstagen dras till bestämd låslast och låses där. Foderröret för linstaget injekteras och schakt till fullt djup samt berget friläggs utförs. Därefter besiktas berget och eventuell förstärkning inför bergschaktet ner till tunneln besluts.

### 6.12 Schaktningsförfarandet

Eftersom diametern på sekantpåleväggen är 13 m och djupet ca 10 meter uppstår svårigheter vid urschakt av jordmassor. En möjlighet skulle vara grävmaskin med lång bom. Vi kommer dock att använda oss av en relativt ny metod, grävsug (se Figur 26) och till hjälp en liten grävmaskin.

Grävsugen är ett specialfordon som är tillverkat för att suga upp i princip allt material som produceras inom bygg- och anläggning samt i industriella miljöer. Materialet som sugs upp kan vara torrt, flytande, fast, löst eller lerigt och ha en diameter upp till 250 mm. Grävsugen kan användas på djup ner till 30 m och horisontellt avstånd upp till 200 m med reservation för olika materialtyper. (Söderlindhs januari 2013).



Figur 26. Illustrerad grävsug.



### 6.13 Risker

Vid startmöte 21.2.2013 i Sammonmäki, Finland diskuterades bland annat dessa risker som presenteras här. Deltagande vid mötet var Andreas Backhammar, Thomas Paulsson, Kimmo Perkiö, Jukka Blåfield, Petri Nykänen, Aki Pullinen, Petri Tapio, Jorma Miettinen och Camilla Häggdahl.

Sned borrning av sekundärpålarna, vilket gör att sekantpålarna inte överlappar varandra. Förslag var att gjuta armering i primärpålarna för att ge stöd ifall pålen spricker. Detta utförs inte eftersom det då är möjligt att armeringen i botten av pelaren placeras fel och stör borrningen av sekundären. För att förhindra sned borrning ska borrningen utföras med så lite kraft som möjligt. Foderröret kan också dras upp korta sträckor och köras ner igen under borrningen för att säkerställa att man borrar rätt.

Vid gjutning av pelarna kan flera problem uppkomma. För att säkerställa att vibron fungerar ska rotatorn utbytas mot vibron innan gjutning av pålarna påbörjas. Om vibron slutar fungera under gjutning bör maskin med hängvibro finnas tillgänglig inom kort tid alternativt tar man bort den betong som redan gjutits. För att säkerställa att foderröret lossnar från berget samt betongen inte sugas fast i röret och följer med upp, kan man gjuta 3–5 m åt gången och sedan vibrera upp röret.

Härkningstiden på pålarna är också ett problem. Primärpålarna får inte vara för mjuka när sekundärpålarna borrar eftersom de kan gå sönder då. Men härdar de för länge försvåras borrningen av sekundärpålarna och borrarerna slits mera. Detta kan uppstå om maskin etc. går sönder och tidplanen inte följs. För att förhindra detta kan man borra primärpålar i mindre grupper och borra sekantpålarna oftare.

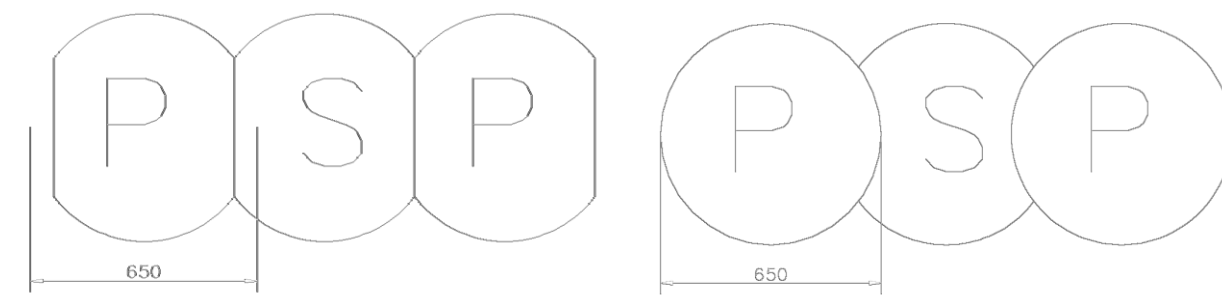
Förutom dessa risker som presenterats i detta kapitel är även frysning av betong en risk. För att förhindra detta värms foderrören före gjutningen och betongen som används är varm. Efter gjutningen täcks pålarna med isolering för att inte frysa sönder.

## 7 Resultat och tolkning

Borrmallen fungerar i det stort sett bra. Sprickor i borrmallen pga. maskinens tyngd uppstod men hur stor påverkan de har på sekantpålarna kan inte ses ännu i detta skede. Eftersom sprickorna är så små torde de inte påverka borrhningen av foderrören för att deras lutning kontrolleras med vattenpass. Eventuell flyttning i sidled torde vara minimal.

Körplåtarna som användes som skydd fungerade till en början bra men efter att maskinen körts fram och tillbaka på dem hölls de inte på plats och kilade fast sig mellan maskinens larvplattor och bröt sönder dem. Därefter användes grovt berg men pga. allt regn höll inte det heller så bra. Vid nya projekt skulle det rekommenderas att gjuta någon form av bärande platta där maskinen ska stå om man inte har möjlighet till ordentlig vattenavrinning.

Användning av frigolitmallar vid gjutning av borrmall lyckades utmärkt. Frigoliten är bra vid sådana här projekt eftersom det inte är en standardform på mallen. Dock uppstod problem vid borrhning när lufttrycket tryckte upp frigolitmallarna ur formen. Dessutom blev man tvungen att skära bort en bit av frigoliten för att få plats med distansplåtarna vid borrhning av primärpålarna. Ett system med två olika modeller av frigolitmallar skulle ha underlättat vid borrhning samt monteringen av distansplåtar. Se till höger i Figur 27.



Figur 27. Principskiss på olika frigolitmallar. Den t.v. användes.

I laddhålet kan foderrör lätt placeras med hjälp av grävmaskin samt vinsch och rotationen kan placeras där medan vibron används. Rotationen kan inte lämnas i det sista foderröret pga. utrymmesbrist annars hade även det varit möjligt. Dock fylldes botten i laddhålet med mycket lermaterial och man var ibland tvungen att haka i borrar skon ovan jord.

Denna cirkelformade sekantpålevägg är lämpligt eftersom man alltid har nära till laddhålet. Annars kan man överväga noggrant hur långt avstånd man ska ha mellan laddhålen för att inte få så mycket förflyttningstid med maskinen. Ett laddhål behövs om man inte har en ledad rotation på maskin eller tillräckligt hög mast.

Både borrhningen och uppdragningen av primärpålarna lyckas utmärkt. Vid borrhning av sekundärpålarna uppstod däremot problem. Vid borrhning i primärpålarna blev betongen till ett fint pulver och kilade sig in mellan borrar skon och foderröret. Detta gjorde att borrar skon inte roterade

lika bra längre och i samband med för mycket slag med hammaren kilade foderrören fast vid borrhningen. Borrhningen lyckades senare med lägre matning men var då mera tidskrävande. Nya modeller av borrhskon har beställts för att prövas. Överlag vid borrhning i lerjord behövs mycket vatten för att lösa upp den tunga leran. Annars hände det att hammaren stockade igen och man var tvungen att köra den upp och ner några gånger för att få ur leran blåst. Hittills har tre omgångar borrhats och tyvärr kan man se förslitningar på borrhskon i form av att några stift ramlat bort. Eftersom ingen tidigare utfört detta tog det några gånger innan rutinen hittades vid byte av redskap samt utförandet m.m.

För att säkerställa att pålen var nere i berg borrhades den 80 cm i berg. Nivån på pålen jämfördes med den teoretiska bergnivån från geoundersökningen samt de bredvid liggande pålarna.

Noggrann tvätt efter uppdragningen är att påpeka, eftersom det då är lättare för piloten att haka i borrhskon. Laddhålet fylls inte med jordmaterial och underlättar monteringen av distansplåtarna. Mycket arbetstid går till spillo om man efteråt skall stå och skrapar bort jordmaterial från foderrören.

Efter borrhning av foderrör fanns det i de flesta rör vatten på botten. För att få med sig vattnet upp hålls gjutarröret alltid under betongnivån vid gjutning och vattnet kom med upp. Blir vattnet kvar på botten blir det dålig vidhäftning mellan berg och gjuten påle.

Hittills kan man säga att borrhning och uppdragning går bra, det är arbetet runt omkring som tar tid.

## 8 Diskussion

Målet med detta slutarbete var att få en dokumentation av projektet. På grund av tilläggs- och ändringsarbeten fördröjdes projektet. Vilket är synd eftersom det slutliga resultatet när man gräver fram pålarna utgår. Jag har i examensarbetet samlat all information om projektet fram till dagens datum och sammanställt det. En fortsättning kommer att göras åt LSAB vartefter projektet framskrider.

Eftersom jag fått vara på plats under utförandet har jag dokumenterat mycket med kameran. Bilderna underlättar mycket i framtiden om man vill ha information till liknande projekt. Förutom att ha dokumenterat har jag personligen lärt mig massor. Allt från utförande teknik till maskinservice.

Jag tror den här metoden kan utvecklas mera. Eftersom vi efter det här projektet vet mycket mera om vad som behövs och inte behövs tror jag att ett nytt liknande projekt skulle gå mycket enklare.

Jag vill tacka Lemminkäinen Sverige AB för att ha gett mig möjligheten att ta del av ett sådant här intressant projekt. Även ett stort tack till handledaren Andreas Backhammar samt arbetsledaren Thomas Paulsson och alla andra som deltagit i projektet för deras stöd och handledning.

## Källförteckning

Bauer. (2013). *Bauer Pileco*. Hämtat från

[http://www.bauerpileco.com/en/products/bauer\\_bg/bauer\\_drilling\\_methods/](http://www.bauerpileco.com/en/products/bauer_bg/bauer_drilling_methods/) den 22.2.2013.

Deep Excavation. (u.d.). *Deep Excavation*. Hämtat från Deep Excavation LLC:

<http://www.deepexcavation.com/en/secant-pile-walls> januari 2013.

Hayward Baker. (2004). *Hayward Baker inc*. Hämtat från Jet Grouting Brochure:

<http://www.revbase.com/TagTeam/client/gallery.asp?dbid=708&siteid=836825&groupids=21605,21607> den 6.2.2013.

Jääskeläinen, R. (2009). *Pohjarakennuksen perusteet*. Tammertekniikka.

Lundgren, A. (15-16.05.2012). *Försöksrapport fält, Mörby tunneln*. Sweco.

Nordlund, T. (2011). *Suihkuinjektoinnin tuottavuuden kehittäminen*. Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu. Hämtat från

[http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25952/Nordlund\\_Teemu.pdf?sequence=1](http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/25952/Nordlund_Teemu.pdf?sequence=1)

Nykänen, S. (2009). *Kaivantojen tukiseinien suunnittelu ja toteuttaminen pysyvinä rakenteina*. Hämtat från

<http://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/9564/Nyk%c3%83%3fnen.Simo.pdf?sequence=2> 2012

Ruukki. (2012). Retaining wall solution for all conditions. Hämeenlinna, Finland: Rautaruukki Corporation.

*Secant Pile*. (u.d.). Hämtat från <http://www.secantpile.com> januari 2013

Stockholms Ström. (den 19.6.2012). *Mörby tunnel, Bygghandling, BBB.13*.

*Söderlindhs*. (u.d.). Hämtat från <http://www.soderlindhs.se/gravsug> januari 2013.

Trafikverket. (u.d.). *Trafikverket*. Hämtat från Om citybanan:

<http://www.trafikverket.se/Privat/Projekt/Stockholm/Citybanan/Om-projektet/> den 17 januari 2013



Åhnberg, H. (2004). *Sekantpålar som stödkonstruktion -Litteraturstudie*. Linköping: SGI.



COORDINATSYSTEM

SYSTEM I PLAN: SWREF 99 18 00  
SYSTEM I HÖJD: RH 00

TECKENFÖRKLARINGAR

-  = PRIMÄRPÅLE
-  = SEKUNDÄRPÅLE

 TOLKAD BERGNIVÅ  
 BEFINTLIG MARKNIVÅ

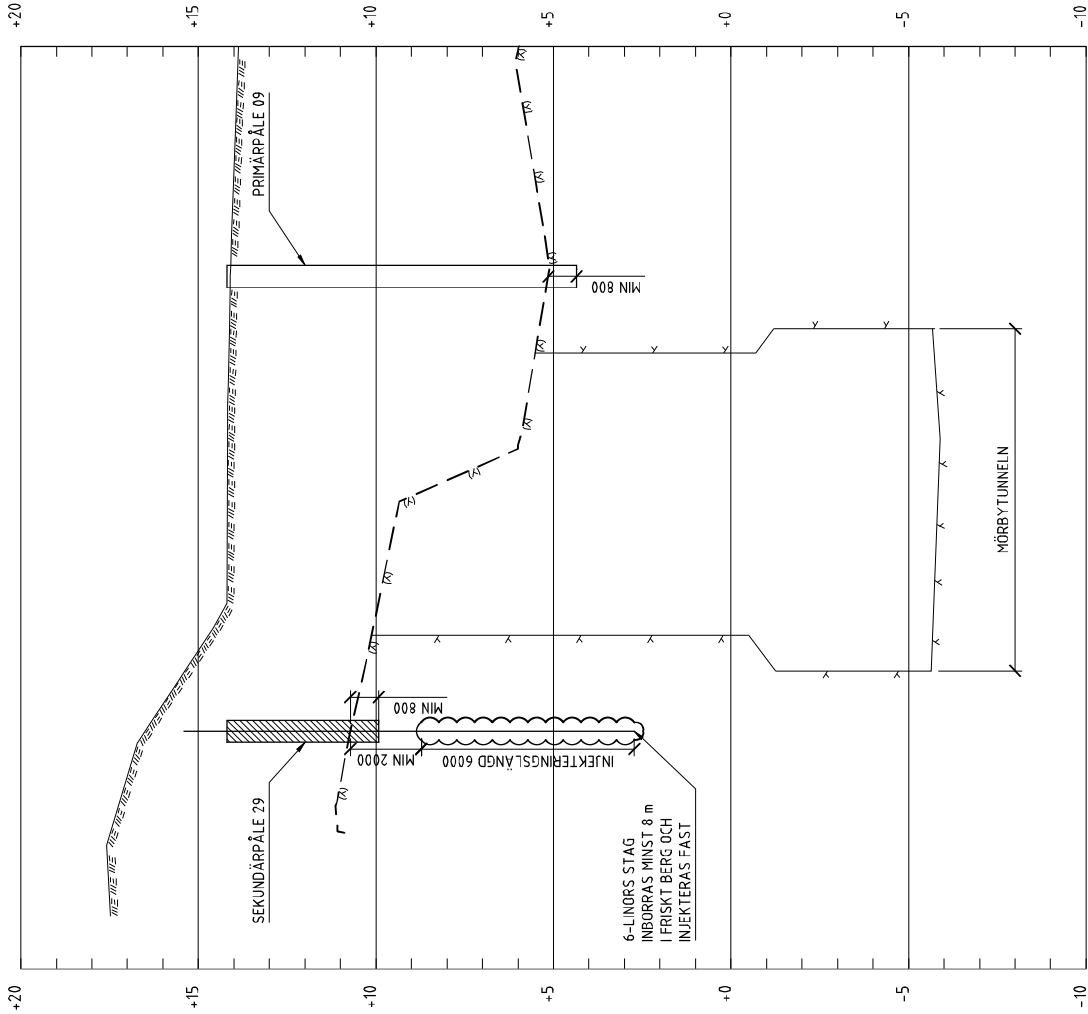
BERGANKARE  
SE 2280:EL04

UNDERLAG


TUNNEL FÖR VERTIKALSCHAKT UNDER SEKANTPÅLARNA INLAGD ENLIGT  
SVENSKA KRAFTNÄT:s RITNING 1218B30041301, DATERAD 2012-10-03.

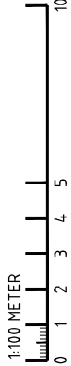
TILLHÖRANDE RITNINGAR

2280:PL04, PLAN OCH DETALJ, SEKANTPÅLAR  
2280:EL04, ELEVATION A-A, SEKANTPÅLAR



SEKTION A-A  
SKALA 1:100

BET	ANT	INRIKTNEN AVSER	SIGN	DATUM
BYGGHANDLING				
LEMMINKÄINEN SVERIGE AB				
				
SWECO INFRASTRUCTURE AB Grievägen 22, Box 2404, 100 25 Stockholm Telefon 08665 99 00, Telefax 0866 62 10 E-post: info@sweco.se, www.sweco.se				
UPPRAG NR	2774280	RITAD AV	D JANSSEN	HANDL. SEKOR V ARYDSSON
DATUM	2013-03-13	ANSVARIG		
MÖRBYTUNNELN SEKANTPÅLAR				
SEKTION A-A				
SKALA	1:100	NUMMER		BET
		2280:SE02		



ANVISNINGAR

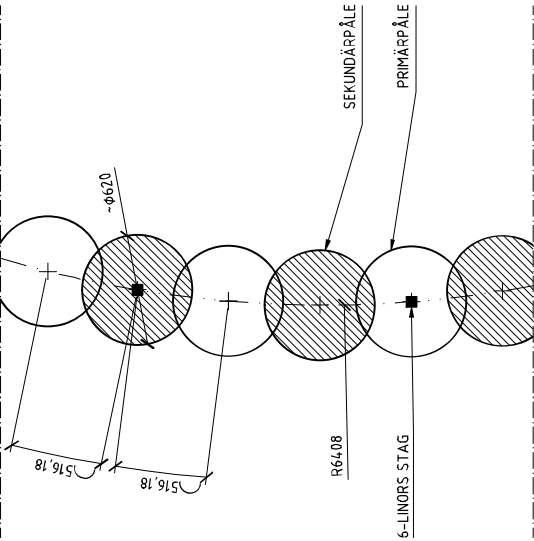
- MATERIAL
- SEKANTPÅLAR: Ø=620 MM (FODERRÖR FÖR BORRNING Ø=622 mm)  
CENTRUMAVSTÅND s=516 mm
- BETONG: C28/35 VCT=0,6  
EXPNORINGSKLASS XC2
- FODERRÖR FÖR LINSTAGRÖR Ø 139,7 X 5,0 mm S355 J2H
- LINSTAG: MEKANISK Fyh=650 MPa fuk=1860 MPa Ø=15,7 mm  
BERGANKARE MED DUBBELT KORROSIONSSKYDD  
ANTAL LINOR, PROVDRAGNINGSLAST SAMT LÅSLAST  
FRAMGÅR AV ELEVATION Z280EL04.
- PROVDRAGNING UTFÖRS PÅ VARJE STAG FÖR SIG MED MED STEGVIS ÖKNING AV LASTEN UPP TILL FULLT UTVECKLAD PROVDRAGNINGSLAST. FÖR VARJE LASTSTEG NOTERAS STAGFÖRLÄNGNINGEN OCH ANBRINGAD LAST. PROVDRAGNINGEN SKA UPPFYLLA KRAVEN I SS-EN 1537, METOD 1. PROTOKOLL SKALL UPPRÄTTAS ÖVER PROVDRAGNING OCH FÖRSPÄNNING V SANDE STAGENS TÖJNING, LAST I STAGEN SAMT HUR LÅNGE LASTEN UPPRÄTTHÅLLS.

ANVISNINGAR ARBETE

- TRYCKHÅLLFASTHETEN PÅ BETONGEN I PRIMÄRPÅLARNA SKA HA UPPNÅTT MINST 8 MPa INNAN BORRNING FÖR SEKUNDÄR-PÅLAR FÅR UTFÖRAS
- FODERRÖR BORRAS NED 0,8 m I FRISKT BERG
- 1 FODERRÖR I VARJE BORRETTAPP SKALL KONTROLLERAS MED AVSEENDE PÅ LUTNING (1 AV 5). LUTNINGEN SKALL NOTERAS I PROTOKOLL OCH SKICKAS TILL ANSVARIG KONSTRUKTÖR. FODERRÖRENS LUTNINGSAVVIKELSE FRÅN VERTIKALLINJEN FÅR INTE ÖVERSTIGA 0,5%
- PROTOKOLL FRÅN FODERRÖRSBORRNING SKALL UPPRÄTTAS. AV DET SKA BERGNIVÅ OCH INBORRNINGSDJUP I BERG FRAMGÅ. PROTOKOLL FÖR PRIMÄRPÅLARNA SKALL UPPRÄTTAS KONTINUERLIGT OCH SKICKAS TILL ANSVARIG KONSTRUKTÖR FÖR GODKÄNNANDE INNAN INTILLIGANDE SEKUNDÄRPÅLAR FÅR UTFÖRAS.
- PROTOKOLL FRÅN STAGSÄTTNING, PROVDRAGNING OCH UPPSPÄNNING TILL LÅSLAST SKALL UPPRÄTTAS SAMT GODKÄNNAS AV ANSVARIG KONSTRUKTÖR.
- ÖVERLASTEN PÅ MARKYTAN INTILL SEKANTPÅLEVÄGG FÅR EJ ÖVERSTIGA 20 kN/m².

ARBETSGÅNG

- BORRA FÖR OCH GJUT PRIMÄRPÅLAR.
- BORRA FÖR OCH GJUT SEKUNDÄRPÅLAR.
- RIDÅNJEKTERING UTFÖRS GENOM SEKANTPÅLAR.
- KAPNING AV SEKANTPÅLAR MELLAN S37 OCH S03.
- GJUT KRÖNBALK.
- ÅTERFyll UTVÄNDIGT.
- INSTALLERA OCH PROVDRÅ BERGSTAG.
- SCHAKT TILL +12 INVÄNDIGT SEKANTPÅLEVÄGG.
- DRA UPP LINSTAGEN TILL LÅSLAST OCH LÅST STAGEN.
- INJEKTERING AV UTTRYMMET MELLAN LINA OCH FODERRÖR.
- SCHAKT TILL FULLT DJUP OCH FRILÄGGNING AV BERG.
- BESIKTNING AV BERG OCH BESLUT OM FÖRSTÄRKNING INFÖR BERGSCHAKT.



DETALJ 1, PLAN, SEKANTPÅLAR MÅTT

1:20

BERGANKARE

SE Z280-EL04.

BERGANKARE

SE Z280-EL04.

BERGANKARE

SE Z280-EL04.

BERGANKARE

SE Z280-EL04.

BERGANKARE

SE Z280-EL04.



KOORDINATSYSTEM  
 SYSTEM I PLAN: SWEREF 99 18 00  
 SYSTEM I HÖJD: RH 00

TECKENFÖRKLARINGAR

- = PRIMÄRPÅLE  
 ● = SEKUNDÄRPÅLE  
 ○ = PRIMÄRPÅLE 01  
 ○ = SEKUNDÄRPÅLE 01  
 ○ = PRIMÄRPÅLE 02  
 ○ = SEKUNDÄRPÅLE 02

TOLKAD BERGNIVÅ I CENTRUM SEKANTLINJE  
 BEFINTLIG MARKNIVÅ I CENTRUM SEKANTLINJE  
 BRYTPUNKT I SEKANTLINJE

BERGANKARE

SEKUNDÄRPÅLE	PROVDRAG. kN	LÅSTLAST kN	STAGLÅNGD MIN
S01	815	685	16,9 m
S02	815	685	17,0 m
S03	815	630	17,4 m
S05	1425	1200	18,5 m
S07	1425	1200	18,6 m
S09	1425	1200	18,4 m
S11	1425	1200	17,9 m
S13	1425	1200	16,8 m
S15	1425	1200	15,6 m
S17	1020	765	13,7 m
S19	1020	775	13,5 m
S21	815	600	12,2 m
S23	815	640	11,8 m
S25	1020	740	12,4 m
S27	1020	855	12,0 m
S29	1225	1000	12,7 m
S31	1020	1020	12,7 m
S33	1020	750	12,2 m
S35	815	600	11,7 m
S37	815	600	15,2 m
S38	815	685	15,9 m
S39	815	685	16,6 m

UNDERLAG


TUNNEL FÖR VERTIKALSKAKHT UNDER SEKANTPÅLARNA INLAGD ENLIGT SVENSKA KRAFTNÄT'S RITNING 1218B30041301, DATERAD 2012-10-03.

TILLHÖRANDE RITNINGAR

2280:PI.04, PLAN OCH DETALJ, SEKANTPÅLAR  
 2280:SE04, SEKTION A-A, SEKANTPÅLAR

BYGGHANDLING

LEMMINKÄINEN SVERIGE AB

 <b>SWECO</b>			
SWECO INFRASTRUCTURE AB Göteborgsgatan 22, Box 3434, 400 35 Stockholm Org.nr: 556567-4888, ssk.se www.sweco.se			
UPPDRAG NR	RTAD AV	HAND. ÖVERGÅRE	
2774290	D. JANSSON	V. ARVIDSSON	
DATUM	ANSVARIG		
2013-03-13			
MÖRBYTUNNELN SEKANTPÅLAR			
ELEVATION A-A			
SKALA	1:100	1:100	1:100
2280:EL04			BET

S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10	S11	S12	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24	S25	S26	S27	S28	S29	S30	S31	S32	S33	S34	S35	S36	S37	S38	S39	S01
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

12,40	12,40	12,40	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20	14,20
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

6,53	6,37	5,97	5,39	4,94	4,64	4,79	4,91	5,03	5,27	5,53	6,07	6,61	7,00	7,78	8,32	8,65	8,79	8,86	8,91	9,15	9,48	9,63	9,84	10,03	10,23	10,43	10,56	10,72	10,71	10,66	10,39	10,23	10,08	9,66	8,80	8,20	7,47	6,82	6,53
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------

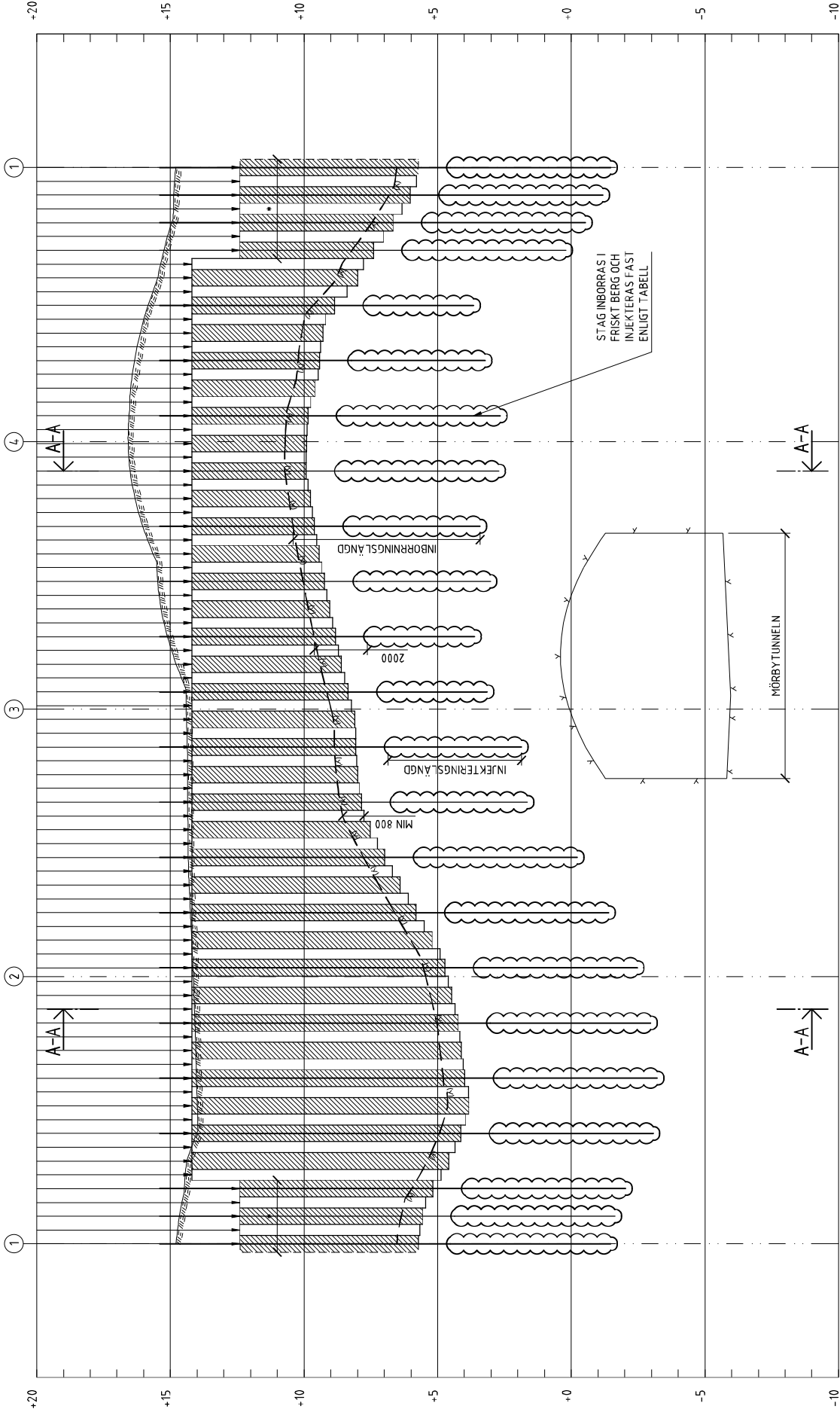
5,73	5,57	5,17	4,59	4,14	3,84	3,99	4,11	4,23	4,47	4,73	5,21	5,81	6,40	6,98	7,52	7,85	7,93	8,06	8,11	8,35	8,60	8,83	9,04	9,23	9,43	9,61	9,76	9,92	9,91	9,86	9,59	9,43	9,28	8,86	8,00	7,40	6,67	6,02	5,73
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

12,4	12,4	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

6,47	6,25	5,67	5,15	4,76	4,65	4,85	4,97	5,15	5,40	5,71	6,31	6,90	7,49	8,05	8,55	8,73	8,84	8,87	9,02	9,29	9,52	9,73	9,94	10,14	10,33	10,49	10,64	10,72	10,69	10,55	10,27	10,17	9,99	9,19	8,58	7,83	7,13	6,60
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------

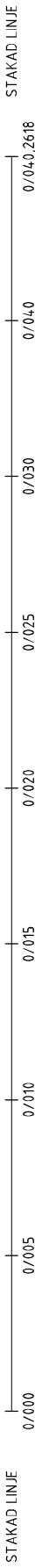
5,67	5,45	4,87	4,35	3,96	3,85	4,05	4,47	4,35	4,60	4,91	5,51	6,10	6,69	7,25	7,75	7,93	8,04	8,07	8,22	8,49	8,72	8,93	9,14	9,34	9,53	9,69	9,84	9,92	9,89	9,75	9,47	9,37	9,19	8,39	7,78	7,03	6,33	5,80
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------



STAG	4-LINORS STAG	7-LINORS STAG	5-LINORS STAG	4-LINORS STAG	5-LINORS STAG	5-LINORS STAG	6-LINORS STAG	4-LINORS STAG	STAG
INJEKTERINGSÅNGD	6 m	8 m	5 m	4 m	6 m	7 m	6 m	5 m	INJEKTERINGSÅNGD
INBORRNINGSLÅNGD	8 m		7 m	6 m	8 m	7 m	7 m	6 m	INBORRNINGSLÅNGD
ÖVRIGT									ÖVRIGT

\* = HÅLTAGNING FÖR ELKABLAR

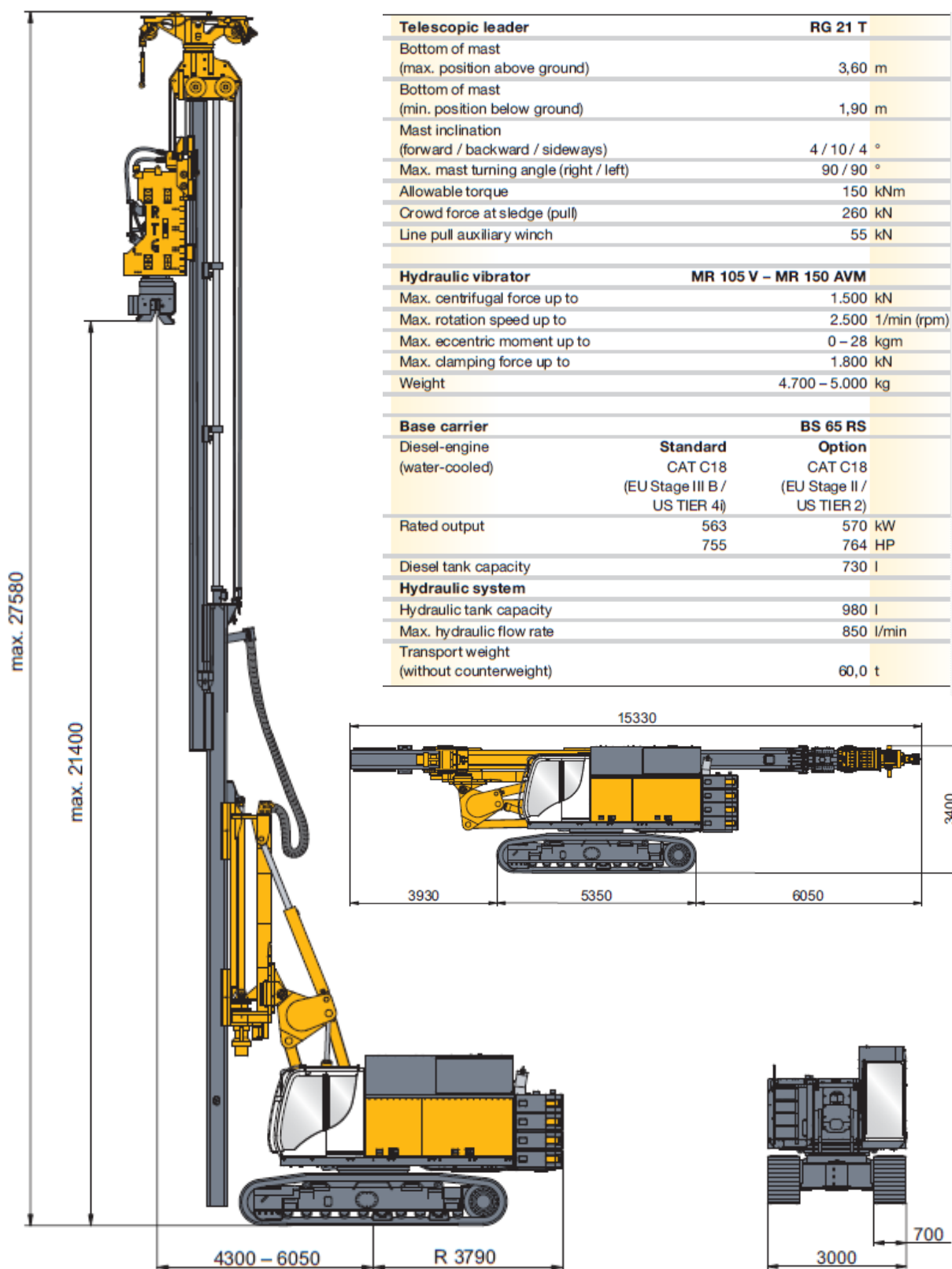
\* = HÅLTAGNING FÖR ELKABLAR



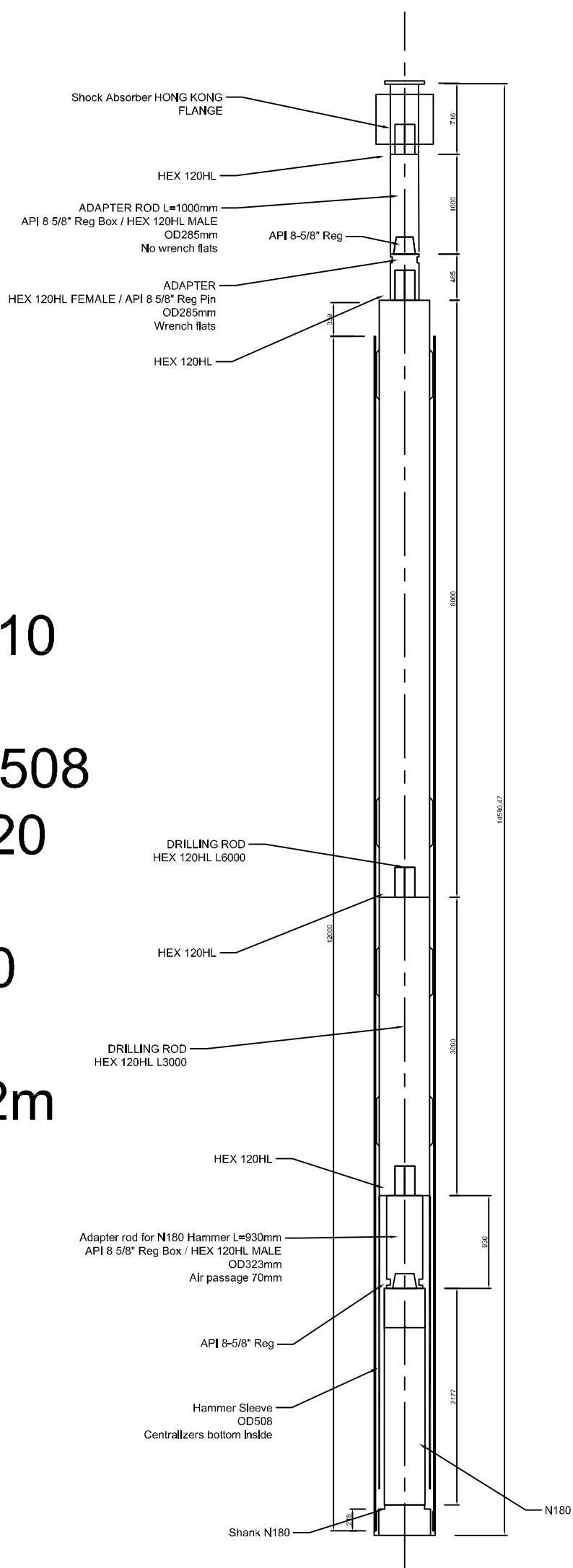
ELEVATION A-A, SEKANTPÅLAR

SKALA 1:100





# RD610 + HEX508 HL120 N180 L=12m



COORDINATSYSTEM

SYSTEM I PLAN: SWEREF 99 18 00  
SYSTEM I HÖJD: RH 00

TECKENFÖRKLARINGAR

{ } = BORRMALL

- P01 = PRIMÄRPÅLE 01
- S01 = SEKUNDÄRPÅLE 01
- P02 = PRIMÄRPÅLE 02
- S02 = SEKUNDÄRPÅLE 02

FÖRESKRIFTER

BTG: C 25/50 VCT 0,5

ARMERINGSTÅL: B500B

LITTERERING AV ARMERINGEN ÄR I PRINCIP UTFÖRD ENLIGT SVENSK ARMERINGSANVISNING 1A, 1979, UTGIVEN AV BASTA. BOCKNINGSTYPER ENLIGT TYPBLAD 2A, 1979.

TÄCKANDE BETONGSKIKT: 50 mm

ARMERINGSLITTERA: BORRMALL 5

SKARVLÄNGD: B500B = 50 x STÅNGDIAMETERN. MAX VARANNAN STÅNG FÅR SKARVAS I SAMMA SNITT.

BOCKNINGSRADIER FÖR BYGLAR: DÅR EJ ANNAT ANGES GÄLLER  $\phi$  B500B 10 12

COORDINATTABELL

ENLIGT BIFÖGAD EXEL "CENTRUM KOORDINATER SEKANTPÅLAR.XLSX".  
DATERAD 2012-12-21.



X=6587615  
Y=152180



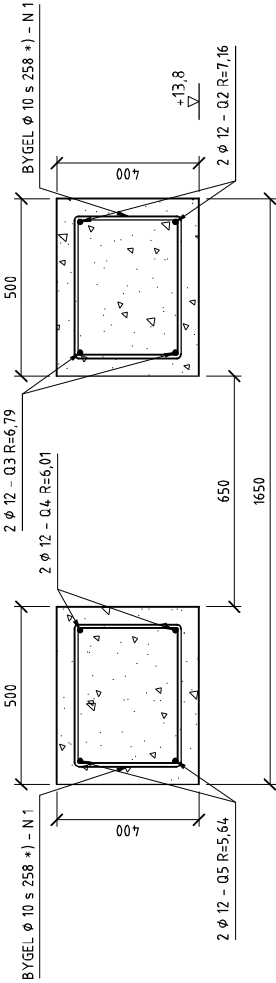
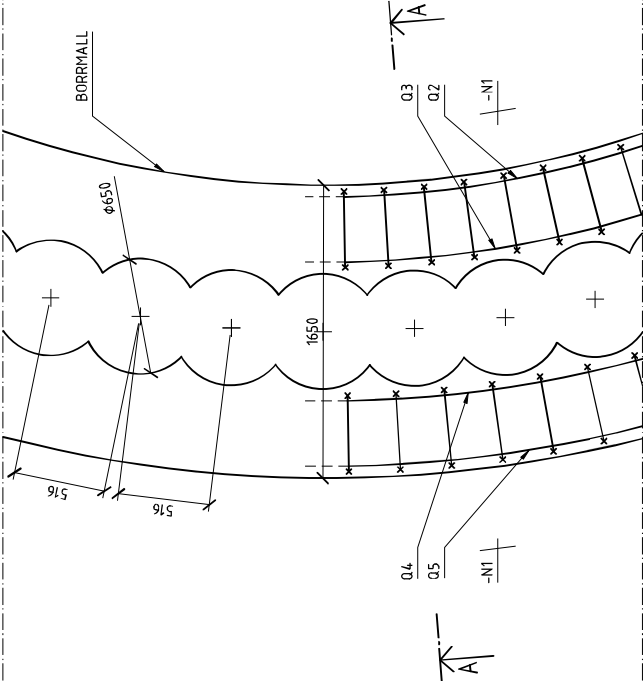
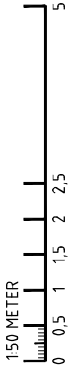
X=6587615  
Y=152155

BORRMALL

DETALJ 1

X=6587605  
Y=152155

PLAN  
150



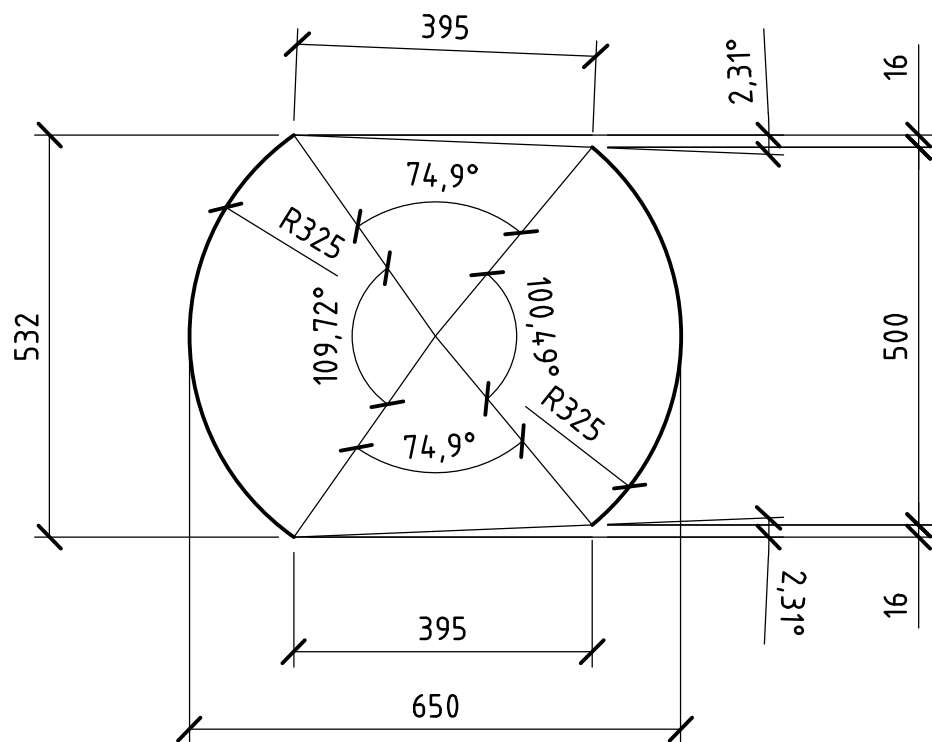
DETALJ 1, PLAN, BORRMALL MÅTT OCH ARMERING

ARMERING ENDAST REDOVISAD I HALVA PLANEN  
1:20

SEKTION A-A

\*J) AVSER S MÅTT I SEKANTPÅLAR.  
BYGLARNA PLACERAS RADIellt I BORRMALLEN.  
1:10

1	2	NUMRERING	SEKANTPÅLAR	VARV	2012-11-30
BTCT	ANT	ANDRNINGEN	AVSER	SIGN	DATUM
BYGGHANDLING					
LEMMINKÄNEN SVERIGE AB					
SWECO					
SWECO INFRASTRUCTURE AB Sveinbjörnsgränd 10, 141 83, Stockholm Org.nr: 060885 50 00, Tid: 060885 00 11 Org.nr: 060885 50 00, Tid: 060885 00 11 WWW.SWECO.SE					
UPPRAG NR	2714280	RITAD AV	D. JANSSON	HAND. GÖRARE	V. ARVIDSSON
DATUM	2012-12-14	ANSVARIG			
MÖRBYTUNNELN BORRMALL MÅTT OCH ARMERING PLAN, DETALJ, OCH SEKTION					
SKALA	150, 120, 1:10	BYGGNINGS TÄRNING	2280.PLO3	I BEF	1



## DETALJ, PLAN, BORRMALL MÅTT

1:10

MÖRBYTUNNELN			PRINCIPSKISS	
			-	1:10
MÅTT			Uppdragsnr	Ritningsnummer
BORRMALL			2174280	
Granskare	Uppdragsledare	Ritad/konstr av	Granskad/godkänd av	Datum
VA	VA	DJ		2012-11-27